

# UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Zentrum für Geburtshilfe, Kinder- und Jugendmedizin

Prof. Dr. med. Dominique Singer

## **”Entwicklung, Implementierung und Auswirkungen einer interprofessionellen Schulungsinitiative für die pädiatrische Beatmung auf zwei Intensivstationen”**

### **Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Pazun Mehrzai  
aus Hamburg

Hamburg 2024

**Angenommen von der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 26.11.2024**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

**Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: PD Dr. Rebecca Schwoch**

**Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: PD Dr. Philipp Deindl**

## Inhaltsverzeichnis

### PUBLIKATIONSDISSERTATION

<b>1</b>	<b>DARSTELLUNG DER PUBLIKATION .....</b>	<b>1</b>
1.1	EINLEITUNG.....	1
1.2	MATERIAL UND METHODEN .....	3
1.3	ERGEBNISSE .....	9
1.4	DISKUSSION .....	13
1.4.1	Limitationen .....	15
1.5	AUSBLICK.....	16
1.6	LITERATURVERZEICHNIS .....	18
<b>2</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>21</b>
2.1	DEUTSCHE VERSION .....	21
2.2	ENGLISCHE VERSION.....	21
<b>3</b>	<b>ERKLÄRUNG DES EIGENANTEILS .....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>LEBENS LAUF .....</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....</b>	<b>24</b>

RESEARCH

Open Access



# Pilot study of an interprofessional pediatric mechanical ventilation educational initiative in two intensive care units

Pazun Mehrzai<sup>1†</sup>, Thormen Höfeler<sup>1†</sup>, Chinedu Ulrich Ebenebe<sup>1</sup>, Parisa Moll-Khosrawi<sup>2</sup>, Süha Demirakça<sup>3</sup>, Eik Vettorazzi<sup>4</sup>, Marlies Bergers<sup>1</sup>, Mandy Lange<sup>1</sup>, Sabine Dreger<sup>1</sup>, Hanna Maruhn<sup>1</sup>, Dominique Singer<sup>1</sup> and Philipp Deindl<sup>1\*</sup>

## Abstract

**Introduction** Inappropriate ventilator settings, non-adherence to a lung-protective ventilation strategy, and inadequate patient monitoring during mechanical ventilation can potentially expose critically ill children to additional risks. We set out to improve team theoretical knowledge and practical skills regarding pediatric mechanical ventilation and to increase compliance with treatment goals.

**Methods** An educational initiative was conducted from August 2019 to July 2021 in a neonatal and pediatric intensive care unit of the University Children's Hospital, Hamburg-Eppendorf, Germany. We tested baseline theoretical knowledge using a multiple choice theory test (TT) and practical skills using a practical skill test (PST), consisting of four sequential Objective Structured Clinical Examinations of physicians and nurses. We then implemented an educational bundle that included video self-training, checklists, pocket cards, and reevaluated team performance. Ventilators and monitor settings were randomly checked in all ventilated patients. We used a process control chart and a mixed-effects model to analyze the primary outcome.

**Results** A total of 47 nurses and 20 physicians underwent assessment both before and after the implementation of the initiative using TT. Additionally, 34 nurses and 20 physicians were evaluated using the PST component of the initiative. The findings revealed a significant improvement in staff performance for both TT and PST (TT: 80% [confidence interval (CI): 77.2–82.9] vs. 86% [CI: 83.1–88.0]; PST: 73% [CI: 69.7–75.5] vs. 95% [CI: 93.8–97.1]). Additionally, there was a notable increase in self-confidence among participants, and compliance with mechanical ventilation treatment goals also saw a substantial rise, increasing from 87.8% to 94.5%.

**Discussion** Implementing a pediatric mechanical ventilation education bundle improved theoretical knowledge and practical skills among interprofessional pediatric intensive care staff and increased treatment goal compliance in ventilated children.

**Keywords** Educational initiative, Team performance, Treatment goal compliance, Selfconfidence, Checklists, Educational film

<sup>†</sup>Pazun Mehrzai and Thormen Höfeler contributed equally as co-first authors.

\*Correspondence:

Philipp Deindl  
p.deindl@uke.de

Full list of author information is available at the end of the article



## Introduction

Managing mechanical ventilation (MV) for infants, children, and adolescents is a complex skill. MV of neonates and children is a life-saving procedure but can also lead to severe complications such as ventilator-associated lung injury [1–4]. Severely diseased lungs are especially susceptible to shear forces due to high tidal volume (TV) [5]. Lung-protective MV aims to create physiological conditions to prevent lung damage. International guidelines for neonatal and pediatric MV recommend avoidance of high TV and delta pressure (peak inspiratory pressure [PIP]—positive end-expiratory pressure [PEEP]) in acute respiratory distress syndrome [6–9]. Although few robust data are available, excessive TV and pressures may also injure healthy lung tissue in mechanically ventilated children [10–12].

In our institution, the nursing staff prepared and set up the ventilators, whereas the physicians adjusted settings according to clinical indications. The combination of this task sharing with inconsistent approaches regarding ventilator settings and the lack of specifically defined goals during MV led to inappropriate ventilator setup and settings, non-adherence to a lung-protective ventilation strategy, and inadequate patient monitoring.

In the realm of medical education, numerous clinical observation tools have been developed to evaluate the clinical skills of medical students and trainees. One notable review conducted by Kogan et al. extensively examined tools for Direct Observation and Assessment of Clinical Skills of Medical Trainees, with a particular emphasis on assessing skills related to history taking, examination, communication, and counseling [13]. The findings of the review underscore the significance of performance-based clinical skills assessment and the availability of various tools for direct observation. However, the authors highlight a noteworthy gap in the literature regarding the scarcity of validity evidence and comprehensive descriptions of educational outcomes associated with these tools. Objective Structured Clinical Examinations (OSCEs) are widely recognized and utilized as evidence-based procedures for learning and assessing practical skills. The literature supports their effectiveness in various domains, including healthcare education [14, 15]. To our knowledge, there is no published OSCE exam that specifically tests practical skills related to pediatric ventilation. O’Boyle et al. developed and validated a tool for testing theoretical knowledge of pediatric staff in mechanical ventilation [16]. In contrast, our approach involved the development of two theory tests, tailored to target the specific weaknesses and focus areas within our clinic, with particular emphasis on high-frequency ventilation and the utilization of inhaled nitric oxide.

The integration of interprofessional education (IPE) plays a pivotal role in adequately preparing physicians and nurses for their future roles in the healthcare workforce, where effective teamwork and collaboration are vital competencies. Recognizing its significance, several international health organizations have actively advocated for the implementation of IPE as a means to reshape healthcare systems, foster interprofessional teamwork, elevate the quality of patient care, and ultimately enhance health outcomes [17]. Interprofessional educational programs can improve theoretical knowledge and skills [18–21], but their effect on mechanical ventilation settings and compliance to treatment goals in actual pediatric patients remains unclear.

This interprofessional educational initiative aimed to improve team knowledge and practical skills regarding pediatric MV and to optimize compliance with treatment goals that included a lung-protective ventilation strategy. The first aim was to achieve consensus on a specification and standardization of ventilator setup, parameter settings, and a lung-protective MV strategy for all ventilated children. Therefore, we tested both nurses’ and physicians’ baseline theoretical knowledge and practical skills regarding MV in children to develop and implement a highly standardized specific educational program. The second aim was to increase theoretical knowledge and practical staff performance regarding MV. The third aim was to increase compliance with patient-specific treatment goals including a lung-protective ventilation strategy to >90% during the twelve months after the intervention.

## Methods

We performed this educational initiative in the 12-bed Pediatric Intensive Care Unit (PICU) and the 15-bed Neonatal Intensive Care Unit (NICU) of the Level-IV University Children’s Hospital, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Germany, between August 2019 and July 2021 after approval of the local ethical review committee (Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg, Germany).

An interprofessional team of physicians and nurses supervised the project. During the planning phase, we collected ideas and suggestions on potential improvements and current problems related to pediatric MV from the medical and nursing teams of both ICUs. In addition, we regularly exchanged ideas via a “Kanban Board” through surveys and regular team feedback rounds (Fig. 1). Checklists for set-up and settings according to treatment goals were fixed permanently and visibly to each ventilator. Additionally, pocket cards were distributed to all staff summarizing essential educational topics and mnemonic aids (see [Supplementary Material](#)).

A team consisting of intensive care nurses, physicians, medical education specialists, and communication experts developed the instructive content for a 30-min educational film. The film covered the above-mentioned treatment goals, ventilation, oxygenation, inhaled nitric oxide (iNO), and complications of MV ([www.uke.de/picu-nicu](http://www.uke.de/picu-nicu)). We trained staff members by showing the film, answering questions, and discussing critical topics during training sessions in both ICUs. In addition, each staff member had access to the film from home and any hospital computer for self-study (Fig. 1).

In joint discussions and regular feedback rounds, a highly standardized approach was developed and adapted to set up ventilators and to establish specific start settings according to patient weight categories (see [Supplementary Material](#)). After several team feedback rounds during staff meetings, we expanded the contents of the checklists, pocket cards, and educational film (Fig. 1).

We developed a theory test (TT) following the specific topics of a validated testing tool for pediatric mechanical ventilation [16] and additional topics to evaluate physicians' and nurses' theoretical knowledge at baseline. Our approach involved close collaboration with didactic and subject matter experts to construct a question pool consisting of 30 questions. These questions were then subjected to evaluation for difficulty and stringency through a pilot test involving ten staff members. The pilot test was not included in the final analysis. The valuable feedback received from the participants in the pilot test was utilized to curate the 15 questions for each of the two theory tests covering the following topics: ventilation, oxygenation, iNO, high-frequency oscillatory ventilation (HFOV), and complications of MV, ensuring their comparability and appropriateness for the assessments (see [Supplementary Material](#)). A questionnaire recorded the participant's profession and experience. We randomly assigned the participants to one of two TTs using a randomization list.

A practical skill test (PST), consisting of four sequential Objective Structured Clinical Examinations (OSCE) [14, 15, 21, 22] was taken directly at a modified ICU workplace. We randomly assigned the participants to one of the two equally difficult PSTs using a randomization list. Assessors observed the participants during the PST and

assigned a maximum of 30 points based on performance-structured checklists (see [Supplementary Material](#)). The PST simulated four clinical commonly encountered challenges during mechanical ventilation: A) Setting up and connecting a ventilator (Leoni plus, Löwenstein Medical, Bad Ems, Germany) with a humidification system (Fisher & Paykel Healthcare Limited, Auckland, New Zealand). The time taken for this task was recorded. B) Initiating a ventilator and configuring ventilation parameters and alarm limits for a postoperative patient (newborn, 3 kg body weight, with healthy lungs). C) Adjusting mechanical ventilation based on a blood gas analysis indicating respiratory acidosis or alkalosis. D) Modifying ventilator settings in response to sudden improvements or deteriorations in lung compliance, as indicated by corresponding device alarms. The first two tasks were consistent across both versions of PST. Following each intervention, the participants were re-tested using the remaining task and the previously unassigned TT and PST.

We agreed on MV treatment goals consisting of a lung-protective ventilation strategy for all patients using synchronized mandatory intermittent ventilation (SIMV) and HFOV as a rescue MV mode. We specified recommendations regarding the initiation of MV, ventilator setup, and settings for different weight categories from 0.5 to 80 kg. The specifications referred to PIP, PEEP, inspiration time, respiratory rate, pressure support, trigger sensitivity, and TV and minute volume for SIMV; and mean airway pressure, amplitude, frequency for HFOV. In addition, we defined oxygenation targets to avoid hyperoxia, MV monitoring frequency, alarm limit ranges for all respirator settings, and the use of humidified gas for patients ventilated longer than 24 h [6, 7, 23]. We emphasized a standardized display setting showing pressure, flow, volume curves, and alarm limits.

Before and after the intervention, we performed random and unannounced checks of the ventilator and monitor settings in all invasively and non-invasively ventilated patients in both ICUs. The checks were performed approximately twice per week, but not on consecutive or fixed days, and at varying day times to ensure unpredictability (Fig. 1). In addition, ventilator displays and alarm limits were checked. Treatment goal violations were categorized as follows: a) ventilator setup: humidification not

(See figure on next page.)

**Fig. 1** Timeline and Key Events during the Initiative to Improve Ventilation Quality in Children in Neonatal and Pediatric Intensive Care Units. This figure illustrates the chronological sequence of milestones, training, and evaluation measures during the initiative to enhance ventilator quality for children in neonatal and pediatric intensive care units. The timeline represents pre-intervention, implementation, and post-intervention time points. As part of the intervention, staff engaged in self-study by streaming the educational film 185 times (yellow triangles). Additionally, six collaborative video training sessions with discussions were conducted to enhance training (light green triangles). Team performance was assessed through theory tests (TT) and practical skill tests (PST) during 42 evaluation sessions (light green dots). Furthermore, compliance with patient-specific treatment goals was monitored through 662 random checks across 213 patients receiving respiratory support in both intensive care units (dark blue-green dots). During the SARS-CoV-2 pandemic, between February 2020 and April 2020, the random checks were temporarily paused due to visiting restrictions (light red ribbon)

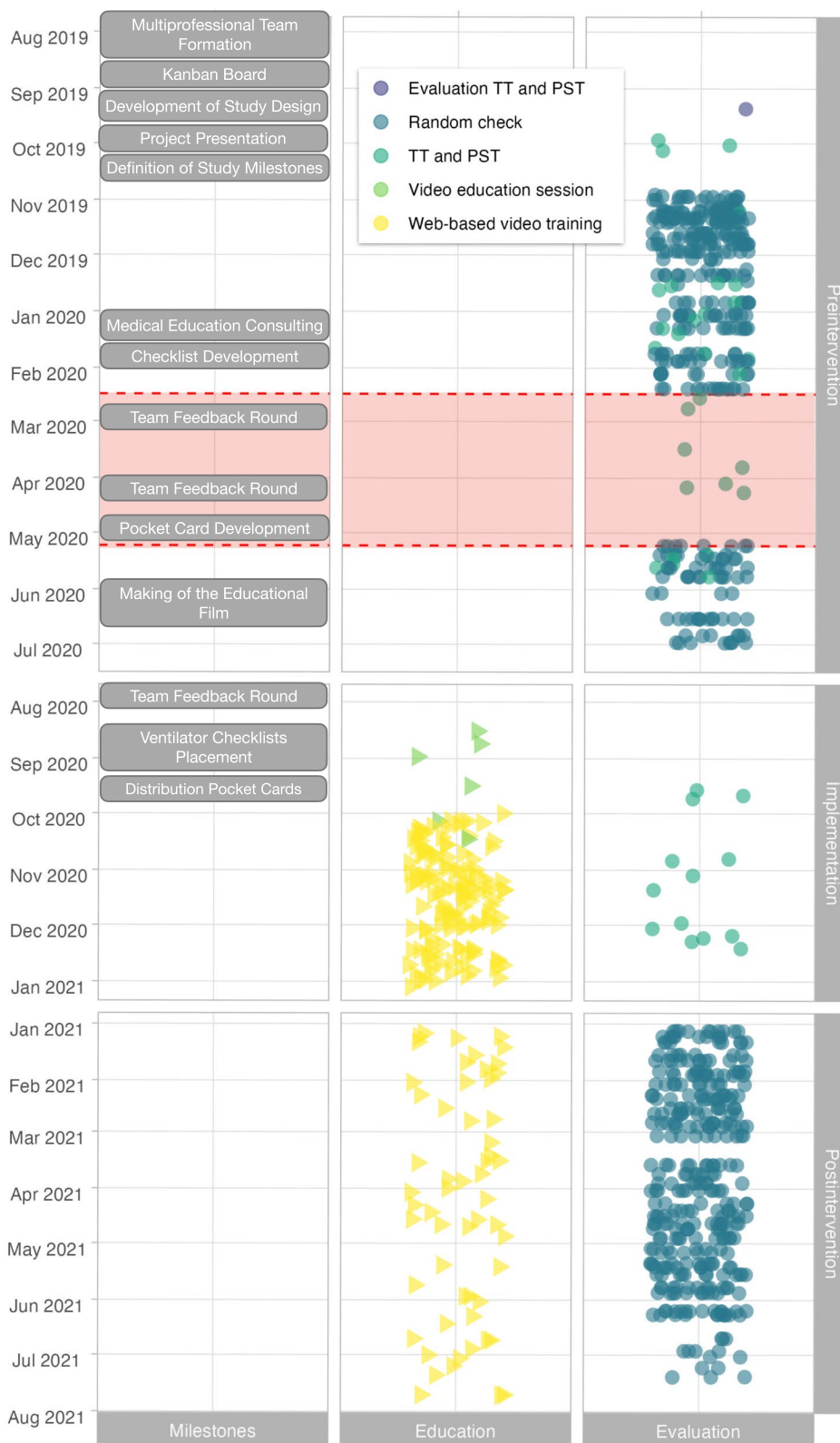


Fig. 1 (See legend on previous page.)

turned on, or no water in the humidification system; b) ventilator display: absent or incomplete displays of pressure, volume, flow curves or alarm limits; c) volume target monitoring: missing or non-optimal (inappropriately high or low) limits for minute volume or TV; d) pressure target monitoring: delta pressure > 15 mmHg, PIP > 30 mmHg; missing, or inappropriately high or low limits for PEEP or CPAP pressure; e) saturation limits (SpO<sub>2</sub>) monitoring: inappropriately high or low limits. The evaluations were conducted discreetly and the staff was not provided with specific details or parameters that were being evaluated.

**Statistical analysis**

A required minimum sample size of *N*=44 participants was calculated to detect a 10% improvement in participants’ overall performance, assuming an overall performance mean of 75% and a standard deviation of 15% with a specified power of 90% and a significance level of 0.05. Continuous variables were expressed as mean (95% confidence interval [CI]). A random allocation sequence was generated using the sample function in R with a 50% probability. Discrete data were compared between groups with the Chi-square test, and effects were reported as Cramer’s V effect sizes. A paired two-tailed t-test was used to compare continuous variables before and after the intervention, and effects were reported as Cohen’s D effect sizes. For the performance comparison, only those participants who had taken part at both test times were included. Linear regression models were calculated for predictor variables (study phase, profession, professional experience) to analyze their impact on the participants’ theoretical knowledge and practical skills performance. Treatment goal adherence over the study period was visualized using a statistical process control chart and adherence rate analyzed using a mixed-effects model to account for multiple checks per patient. *P* values less than 0.05 were considered significant. Statistical analyses were performed using R 4.1.2 (2021–11-01) (R Core Team, Vienna, Austria).

**Results**

In this study, a total of 47 nurses and 20 physicians were evaluated both before and after the introduction of the initiative, utilizing the TT. Additionally, 34 nurses and 20 physicians underwent assessment using the PST component of the initiative. Among the participants, 26 individuals (comprising 17 nurses and nine physicians) were tested using the TT only once before the initiative was implemented. On the other hand, 23 participants (consisting of 17 nurses and six physicians) were tested using the TT only once after the initiative was introduced. For the PST component, 39 participants (comprising 30

nurses and nine physicians) were assessed only before the intervention took place. Subsequently, nine participants (including seven nurses and two physicians) were evaluated using the PST component after the implementation of the initiative. At the time of the research, we had a total of 45 nurses working in our NICU and 75 nurses in our PICU. Regarding the medical team, most physicians were permanently assigned to one ward, with 18 physicians in the NICU and 12 in the PICU. However, some team members did have occasional assignments in both areas.

The reasons for taking a test only once were: dismissal, maternity leave, or unavailability. Supplementary Fig. 1 shows the recruitment of participants for the TT and PST and the analyses performed. To compare participants’ performance, we included only those who had completed the tests at both time points (Table 1).

Staff TT and PST performance in percent (CI) improved significantly after the intervention compared to before (TT: 86 [83.1–88.0]% vs. 80 [77.2–82.9]%, *P*<0.001, *d*=0.61; PST: 95 [93.8–97.1]% vs. 73 [69.7–75.5]% vs., *P*<0.001, *d*=2.2). A subgroup analysis by professional groups also showed a substantial improvement in TT performance among nurses (before: 77.4 [73.9–80.9]%, after: 82.6 [79.9–85.3]%, *p*<0.001, *d*=0.562) and physicians (86.2 [82.3–90.1] vs. 92.6 [88.8–96.4]%, *P*=0.005, *d*=0.699). Also, both professions performed better in the PST after the intervention (nurses before: 75.9 [72.9–78.9]% vs. after: 97.5 [96.6–98.5]%, *p*<0.001, *d*=2.35; physicians before: 67 [61.6–72.4]% vs. 92 [88.2–95.8]%, *P*<0.001, *d*=2.11). Physicians (before: 578 [495–661] s vs. after: 390 [313–468] s, *P*<0.001, *d*=-0.90), and nurses (before: 273 [249–297] s vs. after: 208 [189–227] s, *P*<0.001, *d*=-0.92) needed significantly less time (mean

**Table 1** Characteristics of participants who were tested before and after the intervention

	Nurses	Physicians
<b>Theory Test</b>		
Number of participants	<i>n</i> =47	<i>n</i> =20
Professional experience, years		
0–5	17 (36.2)	15 (75)
6–15	11 (23.4)	3 (15)
> 15	19 (40.4)	2 (10)
<b>Practical Skill Test</b>		
Number of participants	<i>n</i> =34	<i>n</i> =20
Professional experience, years		
0–5	12 (35.3)	15 (75)
6–15	10 (29.4)	3 (15)
> 15	12 (35.3)	2 (10)

\* Categorical variables are shown as counts (percentage)



[CI]) for ventilator setup after the intervention than before (Fig. 2). Participants performed similarly in the two TTs before the intervention (TT1 78.3 ± 11.6 vs, TT2 76.9 ± 9.8,  $p=0.222$ ), indicating the comparability of the two test versions.

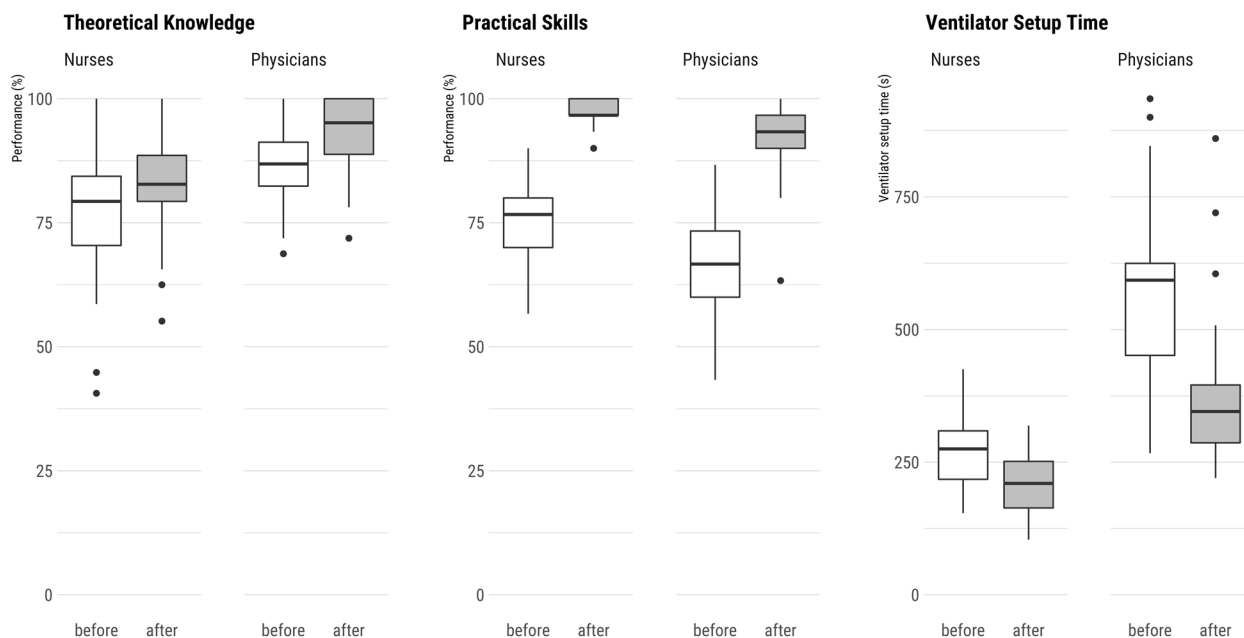
To identify the predictors of staff performance, we analyzed the intervention itself, the participants' professional experience, the professional group, and the testing regime on the participants' TT and PST performance by computing linear regression models. The study phase (timepoint) had the most substantial impact on staff performance in percent (CI) (TT: -5.6 [-8.7–2.4]%,  $P<0.001$ ; PST: -22.9 [-26.1–19.7]%,  $P<0.001$ ). Physicians performed better than nurses in the TT (12.3 [9.17–15.4]%), but worse in the PST (-6.2 [-9.2– -3.2]%). Inexperienced staff (professional experience < 5 years) performed worse in the TT than more experienced staff (-7.38 [-10.2– -4.5]%,  $P=0.001$ ), whereas this effect was not true for the PST (-2.6 [-5.47–0.17]%,  $P=0.07$ ). The testing regime (number of tests absolved) had no impact on performance, indicating that whether a candidate was tested before and after or only once after the intervention was irrelevant (1.8 [-1.6–5.3]%,  $P=0.30$ ) (Fig. 3).

Self-confidence among both professions increased significantly after bundle implementation (Nurses:  $p=0.048$ ; Physicians:  $p=0.02$ ) as Supplementary Figure 2 illustrates. Supplementary Figure 3 shows the connection between work experience, occupational group, and performance. Practical Skill Test performance improvement appeared to be largely independent of

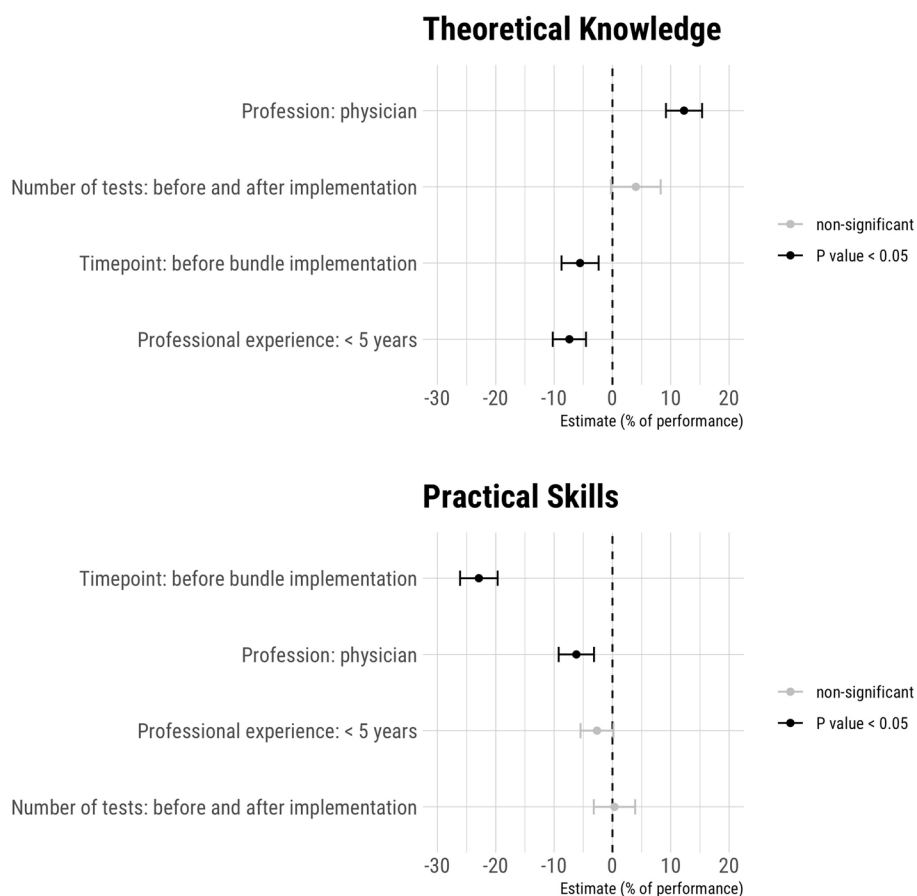
staff experience (mean improvement: 0–5 years: 24%, 6–15 years: 22%, > 15 years: 20%). However, analyzing the theory test results, we noticed that inexperienced staff showed substantial improvements (0–5 years: 5%), as did the highly experienced ones (> 15 years: 5%). Meanwhile, employees with a moderate level of experience demonstrated improvements in individual topics but did not show a relevant overall mean theory test performance increase (6–15 years: 1%). The theory test revealed certain topics that posed significant challenges for the participants, namely Intrapulmonary shunts, Ventilator-associated pneumonia, and High-frequency oscillatory ventilation. As for the practical skills test, participants, including both nurses and physicians, struggled the most with alarm management, display setting, inspiratory time choice, and ventilation adjustments for compliance changes.

A total of 3103 parameters were examined during 322 random checks in 105 MV patients pre-intervention (October 2019–June 2020) and a total of 3476 parameters were evaluated during 340 random checks in 108 MV patients post-intervention (January 2021–July 2021) (Fig. 1). The post-intervention compliance with treatment goals was significantly and persistently above the target of 90% (Fig. 4).

A mixed-effects model with a random term (Patient ID) that accounted for the multiple checks per patient confirmed that the mean compliance increased significantly by 6.7% from 87.8% before the intervention to 94.5% ( $P<0.001$ ) (see also Supplementary Table 1),



**Fig. 2** Theoretical knowledge, practical skills, and time for ventilator setup of nurses and physicians pre- and post-intervention



**Fig. 3** Predictors of theoretical knowledge and practical skills performance

with slightly lower compliance in the PICU than in the NICU.

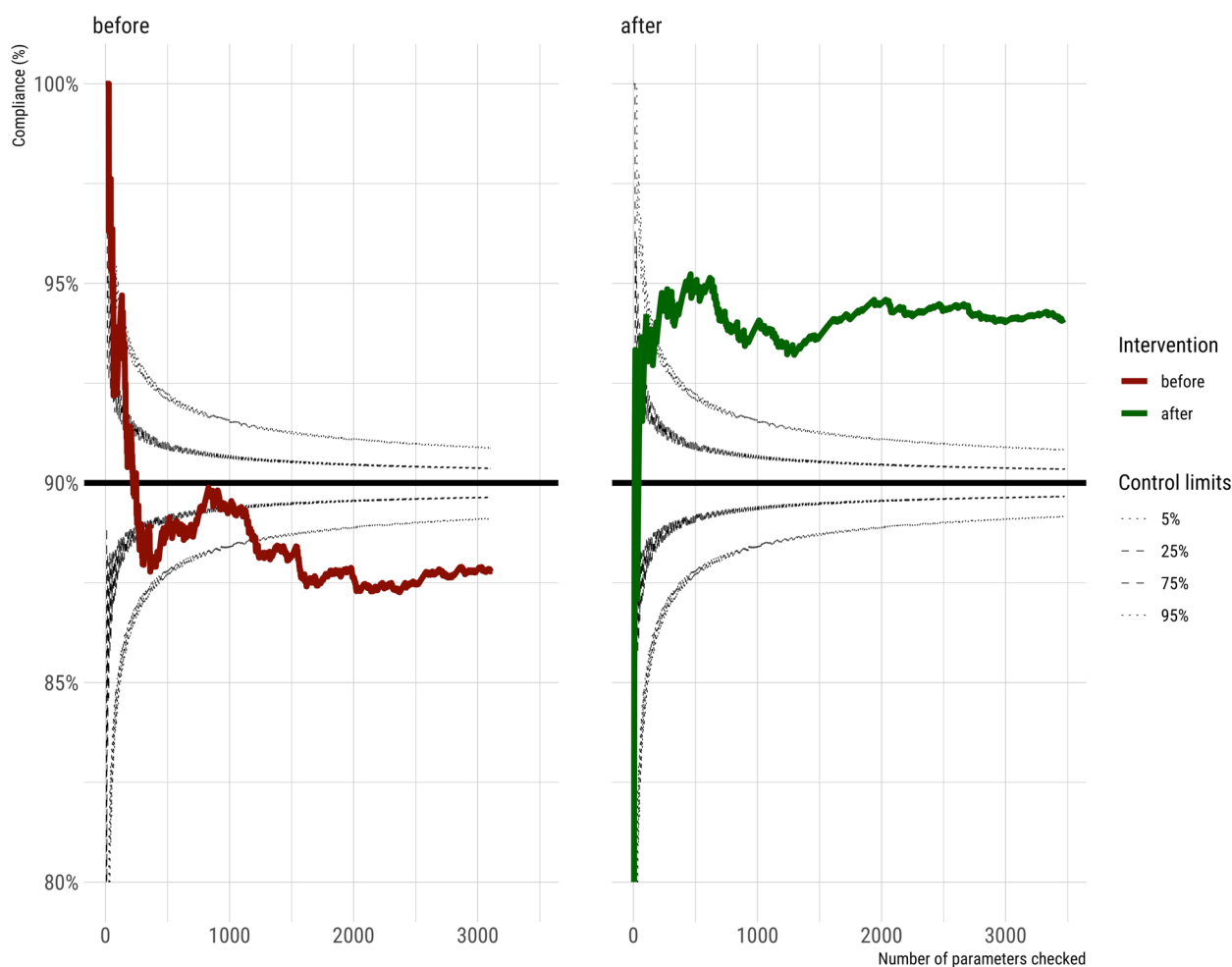
**Discussion**

Implementing a pediatric MV educational program improved theoretical knowledge and practical skills in both nurses and physicians, and increased compliance with treatment goals in two pediatric intensive care units.

We report significant post-intervention improvements in theoretical knowledge and practical skill performance among both professional groups. However, staff had already performed strongly during baseline evaluation (Fig. 2). Nurses scored lower on the TT compared to physicians. In contrast, nurses performed better than physicians in the PST and ventilator setup. We expected this result due to the local task assignments. The implementation significantly improved physicians’ practical skills and significantly reduced the time that physicians and nurses needed to set up a ventilator. The staff of both professions with limited experience (0–5 years) scored lower in the TT than more experienced staff (> 5 years). Inexperience was not a relevant factor in PST performance (Fig. 3),

indicating that nurses, in particular, acquire theoretical knowledge with increasing professional experience. The notable drop-out rates within our study, particularly evident in the TT group (nurses: 26%, physicians: 10%) and even more prominently in the PST group (nurses: 47%, physicians: 24%), can be attributed to a combination of factors. These factors encompass staff turnover, the intricate nature of the testing environment which took place during regular working hours, and the anxiety-inducing testing scenario that deterred certain participants from undergoing the test a second time.

Supplementary Figure 3 illustrates the correlation between staff experience and performance in theory and practical skill tests. Surprisingly, we observed that practical skill test performance improvement was largely independent of staff experience (mean improvement: 22%). However, for the theory test, there was an interesting trend: inexperienced and highly experienced staff showed significant improvements, while moderately experienced staff demonstrated improvements in individual topics but no significant overall increase in performance. In the theory test, Intrapulmonary shunts, Ventilator-associated



**Fig. 4** Statistical process control chart illustrating adherence to treatment goals (black horizontal line) with control limits before (dark red) and after (dark green) the implementation of an intervention bundle to improve the quality of mechanical ventilation in children plotted as running means. The checks covered ventilator setup, ventilator display, volume, pressure, and pulse oximetry target monitoring

pneumonia, and High-frequency oscillatory ventilation were identified as particularly challenging topics for the participants. On the other hand, the practical skills test revealed that both nurses and physicians faced difficulties with alarm management, display settings, inspiratory time selection, and making ventilation adjustments for compliance changes.

These results suggest that training initiatives should cater to both inexperienced staff and highly experienced individuals. In our setting, physicians scored lower than nurses in practical skills, indicating a potential lack of exposure to practical aspects, possibly influenced by task distribution within our clinic. Tailored training to address specific knowledge gaps would be highly beneficial.

We used an educational film ([www.uke.de/picu-nicu](http://www.uke.de/picu-nicu)) available to the team as a self-learning offering which was well adopted (Fig. 1) and proved to be a resource-effective

and efficient measure for standardized and contemporary training [24]. We tested the theoretical knowledge of the participants but moreover their practical skills in using the equipment and their abilities to respond to clinical challenges using OSCE. Although OSCE can only partially reflect clinical reality [14, 18, 21], in our study setting, OSCE was well suited to test the psychomotor skills of the participants.

Our aim was to establish a standardized and inclusive educational approach that would enhance the understanding and awareness of the tasks and challenges faced by both professional groups. This objective aligns with the fundamental principles of effective interprofessional education, as outlined by van Diggele [17]. By promoting interprofessional education, we sought to diminish hierarchical barriers and empower nursing professionals to actively engage and contribute their expertise, ultimately

enhancing patient safety. The notable increase in self-confidence observed among the participants of our study suggests that both professions have gained a heightened level of proficiency in the field of mechanical ventilation in children (Supplementary Fig. 2). When designing our educational program, we carefully considered the guiding principles put forth by van Diggele et al., which delineate key considerations for planning and implementing inter-professional facilitation in both classroom and clinical settings [17].

With patient safety, the high staff turn-over [25], and the high proportion of inexperienced staff in intensive care units in mind, a practical, consistent, and resource-effective education is of great importance in health care [19, 20].

This initiative defined numerous aspects regarding ventilator setup, the visible display of all relevant parameters, and specifications for alarm limits and patient monitoring during MV. Compliance with these treatment goals was only accessible through random checks of patients and respirators. The mean compliance to treatment goals rose rapidly by about 7% after the intervention, well above the aim of 90%, and remained at this high level (Fig. 4). This effect was also significant after correcting for multiple checks in some patients calculating a mixed-effects model (sTable 1). Incorrect respirator setup, settings, and missing alarm limits occurred significantly less frequently after the intervention, reflecting higher team compliance with treatment goals. To our knowledge, this study is the first to report improvements in the team's theoretical knowledge, practical skills, and immediate improvements in compliance with MV treatment goals in actual pediatric patients after an educational intervention.

Future studies should investigate whether improved team knowledge and optimized ventilator settings result in better patient outcomes and enhanced patient safety for ventilated children. This may require validating the instruments used in this study and establishing a collaborative multi-center, regional, or national training program in partnership with professional organizations.

### Limitations

We conducted the study at only one institution. Our approach involved a comprehensive bundle of measures, making it challenging to isolate the specific impact of each component retrospectively. The distribution of roles in the setup of ventilators and their adjustment may vary locally, and additional specialized professionals may be involved in respiratory management, thus restricting the generalizability of the results. In addition, pediatric ventilator management is a complex skill, and neither international recommendations nor universal agreements exist among experts regarding MV goals for children. We,

therefore, defined local treatment goals and MV settings and adapted the educational program to local requirements. Although we did not determine the difficulty level of the two TTs and PSTs, the cross-over testing study design, coupled with randomized assignment and per-participant analysis, minimized the potential impact of any variations, thus providing a robust evaluation of the intervention's effectiveness. Participants performed similarly in the two TTs and PSTs before the intervention, that a similar level of difficulty of the tests can be assumed. Blinding of the TT and PST assessors and random checks were impossible because of the study design. Knowing that they participated in the initiative, the treating team may have changed their behavior (Hawthorne effect).

### Conclusions

Implementation of a pediatric mechanical ventilation education bundle significantly improved theoretical knowledge, practical skills, and self-confidence among interprofessional intensive care staff and increased treatment goal compliance in actual pediatric patients of two intensive care units.

### Abbreviations

HFOV	High-frequency oscillatory ventilation
ICU	Intensive Care Unit
IPE	Interprofessional Education
NICU	Neonatal Intensive Care Unit
PEEP	Positive end-expiratory pressure
PICU	Pediatric Intensive Care Unit
PIP	Peak inspiratory pressure
PST	Practical Skill Test
MAP	Mean arterial pressure
MV	Mechanical Ventilation
SIMV	Synchronized mandatory intermittent ventilation
TV	Tidal volume
TT	Theory Test
OSCE	Objective Structured Clinical Examination

### Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04599-1>.

**Additional file 1.** Checklists for ventilator setup and initial settings, educational materials, theory tests (TT), and practical skill tests (PST).

**Additional file 2: Supplementary Figure 1.** The flowchart shows the number of pre- and post-intervention recruited participants and the statistical analyses performed.

**Additional file 3: Supplementary Figure 2.** Self-confidence of nurses (top) and physicians (bottom) before vs. after a pediatric mechanical ventilation education intervention.

**Additional file 4: Supplementary Figure 3.** A) Average performance of participants in the Theory Test Category and the Practical Skill Test Topic Category, categorized by their respective professional groups and experience. B) Detailed view of the performance related to each individual aspect of the practical skill test, as well as for the individual topics of the theory test, separately for the two occupational groups, nurses, and physicians. The dashed vertical red lines represent the average performance

before the intervention, while the solid lines depict the performance after the intervention. The gray diamonds indicate the mean performance per topic or task of the tests before the intervention, and the black diamonds represent the mean performance after the intervention. iNO: Inhaled Nitric Oxide, HFOV: High Frequency Oscillatory Ventilation, DOPES: Acronym: Dislocation, Obstruction, Pneumothorax, Equipment, Stomach, FIO<sub>2</sub>: Fraction of Inspiratory Oxygen.

**Additional file 5: sTable 1.** Mixed-effects model for treatment goal compliance.

### Acknowledgements

All authors thank Petra Julie-Gilb for her excellent advice on the media content, Axel Kirchhoff for the video recording, Eva Hecht for the video editing, and all PICU and NICU team participants supporting this project. We also thank Medical Education Specialists Constantin Trepte and Parisa Moll-Koshrawi for their excellent educational program and team training advice.

### Authors' contributions

Dr PD conceptualized and designed the study, coordinated and supervised data collection, conducted the initial analyses, drafted the initial manuscript, and reviewed and revised the manuscript. Mr PM collected data, conducted the initial analyses, and reviewed and revised the manuscript. Dr TH, Dr CUE, Ms ML, Ms MB, Ms SD, and Ms HM developed educational materials and checklists, collected data, and critically reviewed and revised the manuscript for important intellectual content. Dr MK advised on the study design, teaching methods, and training content. In addition, she helped interpret the data and critically revised the draft for important intellectual content. Dr SD and Prof DS were involved in the intervention planning, helped develop the study design, and revised the draft critically for important intellectual content. Dr EV advised on the study design, critically discussed the results, revised the draft for important intellectual content, and supervised the statistical analysis. All authors approved the final manuscript as submitted and agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

### Funding

Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. This educational initiative was supported by "HANSE Förderpreis", donated by Wissenschaftlicher Verein zur Förderung der klinisch angewandeten Forschung in der Intensivmedizin e.V. (WIVIM), Bremen, Germany. The WIVIM had no role in the design and conduct of the study.

### Availability of data and materials

The datasets used and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

### Declarations

#### Ethics approval and consent to participate

The local ethical review committee (Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg, Germany) approved the study (WF-034/20). Informed consent was obtained from all study participants. All methods were carried out in accordance with relevant guidelines and regulations complied with the Helsinki declaration.

#### Consent for publication

Not applicable.

#### Competing interests

The authors declare no competing interests.

#### Author details

<sup>1</sup>Department of Neonatology and Pediatric Intensive Care Medicine, University Children's Hospital, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Martinistr. 52, Hamburg 20246, Germany. <sup>2</sup>Department of Anesthesiology, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany. <sup>3</sup>Department of Neonatology Pediatric Intensive Care and Pulmonology, Children's Hospital

University Mannheim, Mannheim, Germany. <sup>4</sup>Department of Medical Biometry and Epidemiology, Institute of Medical Biometry and Epidemiology, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany.

Received: 11 November 2022 Accepted: 17 August 2023

Published online: 28 August 2023

### References

- Bresesti I, Agosti M, Lakshminrusimha S, Lista G. Synchronized invasive mechanical ventilation. *Clin Perinatol.* 2021;48(4):813–24.
- Kneyber MC, Zhang H, Slutsky AS. Ventilator-induced lung injury. Similarity and differences between children and adults. *Am J Respir Crit Care Med.* 2014;190(3):258–65.
- Koopman AA, de Jager P, Blokpoel RGT, Kneyber MCJ. Ventilator-induced lung injury in children: a reality? *Ann Transl Med.* 2019;7(19):506.
- van Kaam A. Lung-protective ventilation in neonatology. *Neonatology.* 2011;99(4):338–41.
- Brower RG, Lanken PN, MacIntyre N, Matthay MA, Morris A, Ancukiewicz M, Schoenfeld D, Thompson BT, National Heart L, Blood Institute ACTN. Higher versus lower positive end-expiratory pressures in patients with the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2004;351(4):327–36.
- Kneyber MCJ, de Luca D, Calderini E, Jarreau PH, Javouhey E, Lopez-Herce J, Hammer J, Macrae D, Markhorst DG, Medina A, et al. Recommendations for mechanical ventilation of critically ill children from the Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conference (PEMVECC). *Intensive Care Med.* 2017;43(12):1764–80.
- Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference G. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med.* 2015;16(5):428–39.
- Tume LN, Kneyber MC, Blackwood B, Rose L. Mechanical ventilation, weaning practices, and decision making in European PICUs. *Pediatr Crit Care Med.* 2017;18(4):e182–8.
- Fan E, Brodie D, Slutsky AS. Acute respiratory distress syndrome: advances in diagnosis and treatment. *JAMA.* 2018;319(7):698–710.
- Heath C, Hauser N. Is there a role for lung-protective ventilation in healthy children? *Paediatr Anaesth.* 2022;32(2):278–85.
- Lee JH, Ji SH, Lee HC, Jang YE, Kim EH, Kim HS, Kim JT. Evaluation of the intratidal compliance profile at different PEEP levels in children with healthy lungs: a prospective, crossover study. *Br J Anaesth.* 2020;125(5):818–25.
- Sutherasan Y, Vargas M, Pelosi P. Protective mechanical ventilation in the non-injured lung: review and meta-analysis. *Crit Care.* 2014;18(2):211.
- Kogan JR, Holmboe ES, Hauer KE. Tools for direct observation and assessment of clinical skills of medical trainees: a systematic review. *JAMA.* 2009;302(12):1316–26.
- Brannick MT, Erol-Korkmaz HT, Prewett M. A systematic review of the reliability of objective structured clinical examination scores. *Med Educ.* 2011;45(12):1181–9.
- Nyangeni T, van Rooyen DRM, Du Plessis AH, Ten Ham-Baloyi W. Quality management of objective structured clinical examinations: an integrative literature review. *Nurse Educ Today.* 2022;109:105223.
- O'Boyle AL, Mink RB, Anas NG, Kallay TC. Development of learning objectives and a validated testing tool for management of pediatric mechanical ventilation. *Pediatr Crit Care Med.* 2014;15(7):594–9.
- van Diggele C, Roberts C, Burgess A, Mellis C. Interprofessional education: tips for design and implementation. *BMC Med Educ.* 2020;20(Suppl 2):455.
- Baker DP, Gustafson S, Beaubien JM, Salas E, Barach P. Medical Team Training Programs in Health Care. In: Henriksen K, Battles JB, Marks ES, Lewin DI, editors. *Advances in patient safety: from research to implementation* (Volume 4: programs, tools, and products). Rockville: Agency for Healthcare Research and Quality (US); 2005. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK20594/>.
- Caeymaex L, Astruc D, Biran V, Marcus L, Flamein F, Le Bouedec S, Guillois B, Remichi R, Harbi F, Durrmeyer X, et al. An educational programme in neonatal intensive care units (SEPREVEN): a stepped-wedge, cluster-randomised controlled trial. *Lancet.* 2022;399(10322):384–92.

20. Guilhermino MC, Inder KJ, Sundin D. Education on invasive mechanical ventilation involving intensive care nurses: a systematic review. *Nurs Crit Care*. 2018;23(5):245–55.
21. Nicholls D, Sweet L, Muller A, Hyett J. Teaching psychomotor skills in the twenty-first century: revisiting and reviewing instructional approaches through the lens of contemporary literature. *Med Teach*. 2016;38(10):1056–63.
22. Burgess A, van Diggele C, Roberts C, Mellis C. Tips for teaching procedural skills. *BMC Med Educ*. 2020;20(Suppl 2):458.
23. van Kaam AH, De Luca D, Hentschel R, Hutten J, Sindelar R, Thome U, Zimmermann LJI. Modes and strategies for providing conventional mechanical ventilation in neonates. *Pediatr Res*. 2021;90(5):957–62.
24. Singer SR, Bonvillian WB. Two revolutions in learning. *Science*. 2013;339(6126):1359–1359.
25. Hayes LJ, O'Brien-Pallas L, Duffield C, Shamian J, Buchan J, Hughes F, Laschinger HK, North N. Nurse turnover: a literature review - an update. *Int J Nurs Stud*. 2012;49(7):887–905.

### Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more [biomedcentral.com/submissions](https://biomedcentral.com/submissions)



# 1 Darstellung der Publikation

## 1.1 Einleitung

Die nachfolgende Arbeit beruht auf der obigen Publikation "Pilot study of an interprofessional pediatric mechanical ventilation educational initiative in two intensive care units", welche im August 2023 in der Open-Access-Fachzeitschrift *BMC Medical Education* erschienen ist. *BMC Medical Education* ist eine britische Fachzeitschrift, in der Forschungsartikel nach dem Peer-Review-Verfahren zur Ausbildung von Fachkräften im Gesundheitswesen veröffentlicht werden. Besonderen Fokus legt *BMC Medical Education* dabei auf die Entwicklung von Schulungen, Lehrkonzepten und die Beurteilung des Ausbildungsbedarfs im Gesundheitswesen. *BMC Medical Education* gehört zur Springer Nature Gruppe und wies im Jahr 2022 einen 5-Jahres Impact Faktor von 3,9 auf und rangiert im Scopus Ranking im ersten Quartil (81. Perzentil) in der Kategorie „Ausbildung bzw. Denomination“.

Die Durchführung invasiver mechanischer Beatmung bei Kindern ist komplex und stellt selbst erfahrene pädiatrische Intensivmediziner\*innen vor Herausforderungen. Es existieren nur wenige etablierte Leitlinien zur mechanischen Beatmung von Kindern und Neugeborenen und diese fokussieren sich meist nur auf spezifische Situationen wie angeborene Fehlbildungen oder das Akute Respiratorische Distress Syndrom (ARDS). Dabei ist die mechanische Beatmung eine der häufigsten Interventionen und Aufnahmegründe von Patient\*innen auf Intensivstationen (Guilhermino et al., 2018; Koopman et al., 2019). Daher ist ein fundiertes Wissen und ein sicherer Umgang mit dem Beatmungsgerät von essentieller Bedeutung um Kinder erfolgreich und sicher beatmen zu können (Guilhermino et al., 2018). Neben den gewünschten therapeutischen Effekten kann es im Rahmen der mechanischen Beatmung zu leichten, aber auch schwerwiegenden und lebensbedrohlichen Nebenwirkungen kommen. Die beatmungsassoziierte Lungenschädigung (engl.: ventilator-induced lung injury (VILI)) beschreibt pathologische Veränderungen des Lungenparenchyms, welche durch die maschinelle Beatmung hervorgerufen werden und durch verschiedene Pathomechanismen (Volutrauma, Barotrauma, Atelektrauma, Biotrauma) zur akuten Lungenschädigung von sowohl gesunden als auch vorgeschädigten Lungen führen können (Fan et al., 2018; Heath and Hauser, 2022; Kneyber et al., 2014; Koopman et al., 2019; Sutherasan et al., 2014; Van Kaam, 2011; Van Kaam et al., 2021). Durch zu hohe Beatmungsdrücke (Barotrauma) oder zu hohe Tidalvolumina (Volutrauma) entsteht ein zu hoher transpulmonaler Druck und eine alveoläre Überdehnung. Die elastische Dehnbarkeit des Lungengewebes wird überstiegen und es folgt eine Schädigung des Lungenparenchyms. Beim Atelektrauma resultiert die Lungenschädigung aus dem wiederholten Öffnen und Kollabieren der Alveolen bei zu niedrig gewähltem positiv-endexpiratorischem Druck (engl.: positive endexpiratory pressure (PEEP)) während der maschinellen Beatmung. Das Biotrauma bezeichnet den Prozess der Lungenschädigung durch lokale und systemische Entzündungsmediatoren der Lunge, welche durch chemische Signale während der mechanischen Beatmung freigesetzt werden. Alle Pathomechanismen führen zu einer Schädigung des Alveolarepithels, wodurch es zu einer Entzündungsreaktion mit Ausbildung eines Ödems kommt. Wichtige Bestandteile dieser Entzündungsreaktion sind unter anderem das Zytokin TNF-alpha sowie der Toll-like Rezeptor-4 Signalweg (Heath

and Hauser, 2022; Kneyber et al., 2014; Sutherasan et al., 2014; Van Kaam, 2011). Um einer beatmungsassoziierten Lungenschädigung vorzubeugen, wird eine sogenannte lungenschonende Beatmungsstrategie empfohlen. Wichtig ist dabei anzumerken, dass es keine strikt einheitliche lungenschonende Beatmungsstrategie gibt, die für alle Patient\*innen angewendet werden kann, sondern jeder Fall individuell beurteilt werden muss. Besonders vorgeschädigte Lungen oder diverse Grunderkrankungen können den Behandlungsverlauf erschweren. Grundsätzlich vermeidet eine lungenschonende Beatmungsstrategie zu hohe Tidalvolumina und zu hohe inspiratorische Spitzendrücke, um ein Volu- und/ oder Barotrauma zu minimieren oder gar zu verhindern. Außerdem soll ein moderater bis hoher PEEP verwendet werden, um das Kollabieren der Alveolen zu verhindern und somit einem Atelektrauma vorzubeugen. Des Weiteren sollte die gewählte inspiratorische Sauerstofffraktion ( $\text{FiO}_2$ ) nicht zu hoch eingestellt werden, da dies zu oxidativem Stress führen kann (Heath and Hauser, 2022; Khemani et al., 2009; Kneyber et al., 2014; Koopman et al., 2019; Sutherasan et al., 2014; The Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group, 2015; Van Kaam, 2011). Die Vielfältigkeit der pädiatrischen Erkrankungen und die unterschiedlichen Alter und Reifen der Patient\*innen sowie die Tatsache, dass die pädiatrischen Beatmungsstrategien häufig auf Ableitungen von Erfahrungen mit Erwachsenen oder Expertenmeinungen basieren, macht eine Einheitlichkeit für Empfehlungen zur pädiatrischen mechanischen Beatmung äußerst komplex. Aufgrund dessen besteht dahingehend auch nur wenig klinische Evidenz (Heath and Hauser, 2022; Kneyber et al., 2017; The Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group, 2015).

Wie Burgess et al. bereits 2020 feststellten, bedarf es mehr, um eine Fähigkeit zu erlernen, als diese nur manuell auszuführen. Gleiches gilt für die Durchführung der komplexen pädiatrischen mechanischen Beatmung. Neben den praktischen Fähigkeiten sind grundlegende Kenntnisse in Physiologie, Beatmungsindikationen, Nebenwirkungen der mechanischen Beatmung und Pathophysiologie notwendig, um eine qualitativ hochwertige Versorgung zu gewährleisten. Demzufolge stellen wir uns der Herausforderung, ein großes interdisziplinäres medizinisches Team in einer äußerst komplexen medizinischen Behandlungsmethode sowohl theoretisch als auch praktisch fortzubilden. Denn die erfolgreiche Behandlung im Gesundheitswesen ist stark abhängig von der Leistung des interdisziplinären Teams insgesamt, dennoch gibt es nur wenige interprofessionelle Schulungen oder Fortbildungen (Baker et al., 2005). Zusätzlich ist bewiesen, dass eine gute Zusammenarbeit der Mitarbeiter\*innen die Teamleistung und interprofessionelle Kommunikation verbessert, während unerwünschte Ereignisse verringert auftreten (McEwan et al., 2017).

Auf den beiden Intensivstationen (Neugeborenen- und Kinderintensivstation) des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, auf denen die obige Studie durchgeführt wurde, ist es üblich, dass das Pflegepersonal die Beatmungsgeräte vorbereitet und einsatzbereit aufbaut, sodass die Ärzt\*innen danach die Beatmungseinstellungen vornehmen. Diese klare Aufgabenteilung gepaart mit den nicht-eindeutigen Empfehlungen bezüglich pädiatrischer Beatmungseinstellungen sowie Alarmgrenzen barg die Gefahr von Fehlern und Unsicherheiten im Umgang mit den Beatmungspatient\*innen. Besonders in dieser Situation spielt die interprofessionelle Fortbildung (engl.: interprofessional education (IPE)) eine enorm wichtige Rolle, da das Pflege- und Ärzt\*innenteam im klinischen Alltag stets als Einheit funktionieren muss (Baker et al., 2005; Van Diggele et al., 2020). Interprofessionelle



Schulungsprogramme können sowohl die theoretischen als auch praktischen Kenntnisse der Mitarbeiter\*innen verbessern und führen zu einer verbesserten Patientenversorgung als auch zu weniger vorkommenden unerwünschten Ereignissen (Baker et al., 2005; Caeymaex et al., 2020; Guilhermino et al., 2018; Nicholls et al., 2016). Der spezifische Effekt auf die pädiatrische mechanische Beatmung, auf die korrekte Einstellung der Beatmungsparameter sowie auf das Patientenoutcome blieb jedoch unklar.

Theoretische Tests und klinische Simulationen sind in der medizinischen Aus- und Fortbildung essenziell, um sowohl das theoretische Wissen als auch die praktischen Fähigkeiten von Studierenden und medizinischem Fachpersonal zu beurteilen und zu fördern. Zur objektiven Beurteilung der praktischen Fähigkeiten unserer Studienteilnehmer\*innen benutzten wir sowohl prä- als auch postinterventionell das bereits wissenschaftlich anerkannte simulations- und praxisorientierte Prüfungsdesign der Objective Structured Clinical Examinations (OSCEs) (Brannick et al., 2011; Kogan et al., 2009; Nyangeni et al., 2022). Hierbei handelt es sich um unterschiedliche aufeinanderfolgende mündlich-praktische Stationen oder Aufgabenstellungen, welche von den Teilnehmer\*innen durchlaufen werden. Dabei sind die Aufgabenstellungen für jede\*n Teilnehmer\*in identisch und die Punkteverteilung wird anhand von vorher festgelegten Bewertungsbögen vorgenommen. Unseres Wissens existierte bis zum Beginn unserer Studie kein OSCE, welches spezifisch die praktischen Fähigkeiten in Bezug auf die pädiatrische mechanische Beatmung bewertete. Durch die stets gleich gestellten Aufgaben und Simulationen sowie der zuvor standardisierten Bewertungsbögen wird die objektive Beurteilung der praktischen Fähigkeiten der Studienteilnehmer\*innen ermöglicht. Anders als O'Boyle et al. (2014) entwickelten wir zwei theoretische Multiple Choice Tests, welche sich mit den spezifischen Themen auseinandersetzen, welche wir als potentielle Schwachstellen identifizierten, um das theoretische Wissen unserer Studienteilnehmer\*innen vor und nach Implementierung unserer Schulungsinitiative zu beurteilen.

Unsere interprofessionelle Schulungsinitiative zielte darauf ab, das theoretische und praktische Wissen unserer Mitarbeiter\*innen nachhaltig zu verbessern. Darüber hinaus wollten wir das Beatmungsmanagement auf unseren Intensivstationen standardisieren und so die Versorgungsqualität erhöhen. Ein weiteres Ziel war es, die Einhaltung der patientenspezifischen Behandlungsziele in den ersten zwölf Monaten nach der Intervention auf über 90% zu steigern. Spezieller Fokus lag dabei auf dem Aufbau des Beatmungsgeräts, der korrekten Einstellung der Beatmungsparameter und der Alarmgrenzen sowie das Einhalten einer lungenschonenden Beatmungsstrategie. Durch die Verbesserung der theoretischen und praktischen Kenntnisse unserer Mitarbeiter\*innen und der Eliminierung von Schwachstellen und Unsicherheiten zielten wir zusätzlich darauf ab die Versorgungsqualität unserer Patient\*innen zu verbessern.

## **1.2 Material und Methoden**

Wir führten unsere Schulungsinitiative zwischen August 2019 und Juli 2021, nach Genehmigung durch die Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg (Bearbeitungs-Nummer: WF-034/20), auf unserer pädiatrischen Intensivstation (engl.: pediatric intensive care unit (PICU)) mit 12 Betten und der neonatologischen

Intensivstation (engl.: neonatal intensive care unit (NICU)) mit 15 Betten am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf durch.

In der anfänglichen Planungsphase sammelten wir im multiprofessionellen Team in mehreren Teamsitzungen, durch Umfragen auf Station und über unser „Kanban-Board“ Ideen und Vorschläge zu Verbesserungen für den Ablauf unseres Beatmungsmanagements. Auch Probleme und Unsicherheiten, welche zu Beginn der Initiative auf unseren Intensivstationen herrschten wurden erfragt und identifiziert. Während des gesamten Zeitraums der Studie erfolgten wiederholte Teamsitzungen mit den Mitarbeiter\*innen und Studienleiter\*innen, um Feedback und Verbesserungsvorschläge bezüglich der Lehrinhalte zu ermöglichen (s. Abb. 1).

Im interdisziplinären Team bestehend aus Intensivpflegekräften, Ärzt\*innen und Medizindidaktiker\*innen entwickelten wir die Lehrinhalte für einen 30-minütigen Lehrfilm. Dieser umfasst thematisch den Aufbau und die Einstellung der Beatmungsgeräte, Grundlagen der Beatmung, Oxygenierung und Ventilation, Überwachung und Monitoring, Komplikationen der Beatmung und besondere Situationen (z.B. Verwendung von inhalativem Stickstoffmonoxid (iNO) und die Hochfrequenzoszillationsbeatmung (HFOV) – Link zum Lehrfilm über [www.uke.de/picu-nicu](http://www.uke.de/picu-nicu)). Wir schulten die Mitarbeiter\*innen, indem wir den Lehrfilm zeigten, bestehende Fragen klärten und dringliche Themen während der Schulungen auf beiden Intensivstationen besprachen. Zusätzlich hatten alle Mitarbeiter\*innen auch von zuhause Zugriff auf den Lehrfilm, um diesen erneut anzuschauen. Neben dem Lehrfilm entwickelten wir auch Checklisten für den Aufbau und die Einstellung der Beatmungsgeräte, welche wir an jedes unserer Beatmungsgeräte angebracht haben (s. Abb. 2). Des Weiteren stellten wir Kitteltaschenkarten mit den wichtigsten Themen und Inhalten der Schulungsinitiative her, welche wir an alle Mitarbeiter\*innen verteilt haben, um so ein nachhaltiges Lernen durch Multimodalität zu gewährleisten (s. Abb. 3). Außerdem entwickelten wir ein hochstandardisiertes Vorgehen zum Einrichten der Beatmungsgeräte und zur Festlegung spezifischer Starteinstellungen entsprechend der Gewichtsklassen der Patient\*innen. Die Inhalte der Checklisten und der Kitteltaschenkarten wurden dabei fortlaufend erweitert.



**Abbildung 1.** Vertikale Zeitachse und Schlüsselereignisse der Schulungsinitiative prä- und postinterventionell als auch während der Implementierung. Meilensteine, Schulungen und Bewertungsmaßnahmen werden in der Abbildung chronologisch illustriert. Zum Selbststudium wurde der Lehrfilm insgesamt 185-mal angesehen (gelbe Dreiecke). Sechs Videotrainingseinheiten mit anschließender Diskussion fanden ebenfalls statt (hellgrüne Dreiecke). Bewertung der theoretischen Tests und OSCEs in 42 Sitzungen (hellgrüne Punkte). 662 stichprobenartige klinische Kontrollen der patientenspezifischen Behandlungsziele bei 213 Patient\*innen (dunkelblau-grüne Punkte). Während der SARS-CoV-2-Pandemie wurden die Stichprobenkontrollen aufgrund der Besuchsbeschränkungen unserer Klinik vorübergehend ausgesetzt (rot markierter Zeitabschnitt).

Gerätekarte

## Checkliste Inbetriebnahme Beatmungsgerät „Leoni“ (Heinen & Löwenstein) K1a

- Beatmungsgerät und Heizung einschalten
- Systemcheck inkl. Testung Expirationsventil und Leckage
- Kalibrierung des Flowsensors
- Wahl des Beatmungsmodus (IV → SIMV)
- Einstellen der Beatmungsparameter und Alarmgrenzen
- Anzeige von 3 Kurven (Volumen, Flow, Druck)
- Anzeige Messwerte Seite 1: VT, MV, % spontan, FiO<sub>2</sub>, Pmean, Leck
- Dauerhafte Anzeige der Alarmgrenzwerte

Parameter	1 kg	2 kg	3 kg	4 kg	5 kg
PIP (cmH <sub>2</sub> O)	15	15	15	15	15
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	5	5	5	5	5
Flow (l/min)	8	8	8	10	12
Frequenz (/min)	60	55	45	40	35
T <sub>insp</sub> (sec)	0,33	0,35	0,38	0,40	0,45
MV oben (l/min)	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50
MV unten (l/min)	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75
VT oben (ml)	8	16	24	32	40
VT unten (ml)	3	6	9	12	15


**Gewichtsunabhängig:**

- Pressure support erwägen
- Triggervolumen 15%
- VTG/VTLim aus

*Leck 30%*
*Apnoe 10 sec*
*Ppeak 20 cmH<sub>2</sub>O*
*Frequenz: Vorgegebene Frequenz + 10*

**Abbildung 2.** Beispielhafter Auszug aus den Gerätekarten für die jeweiligen Beatmungsgeräte auf unseren Intensivstationen. Hier: Checkliste zur Inbetriebnahme des Beatmungsgeräts „Leoni“ von Heinen & Löwenstein.

## Invasive Beatmung bei Säuglingen und Kindern

### Probleme:

- D ... Dislokation (Tubuslage)
- O ... Obstruktion  
(des Tubus oder der Atemwege)
- P ... Pneumothorax
- E ... Equipment  
(Beatmungsgerät, Schläuche)
- S ... Stomach (Überblähung des Magens)
- S ... Synchronität mit dem  
Beatmungsgerät/Sedierung



### Steuerung der Beatmung:

#### Ventilationsprobleme:

- Hypokapnie: AMV reduzieren (Frequenz verringern, Driving Pressure\* verringern)
- Hyperkapnie: AMV erhöhen (Frequenz erhöhen, Driving Pressure\* erhöhen)

#### Oxygenierungsprobleme:

Hypoxie ( $SpO_2 \downarrow$ )/Hypoxämie ( $paO_2 \downarrow$ ):  
 $FiO_2$  erhöhen, PEEP erhöhen

#### Abkürzungen:

\*Driving Pressure: Differenz PIP – PEEP |  $FiO_2$ : Inspiratorische Sauerstoffkonzentration | Freq: Frequenz | MAP: Mittlerer Atemwegsdruck | (A)MV: (Atem)Minutenvolumen |  $paO_2$ : Arterieller Sauerstoffpartialdruck | PEEP: Positiver endexpiratorischer Druck | PIP: Peak Inflation Pressure/Spitzendruck | SIMV: Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation |  $SpO_2$ : Pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung |

## SIMV-Beatmung – „Sinnvolle“ Starteinstellungen

**CAVE: Diese Werte stellen nur Richtwerte dar, immer angepasst an klinische Situation und Erfahrung des Anwenders!!!**

Parameter	0,5 kg	1 kg	2 kg	3 kg	4 kg	5 kg
PIP (cmH <sub>2</sub> O)	15	15	15	15	15	15
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	5	5	5	5	5	5
Flow (l/min)	8	8	8	8	10	12
Frequenz (/min)	65	60	55	45	40	35
T insp (sec)	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,45

Triggervolumen 15%, VTG/VTLim aus

Parameter	10 kg	15 kg	20 kg	30 kg	40 kg	50 kg	60 kg
PIP (cmH <sub>2</sub> O)	15	15	15	15	15	15	15
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	5	5	5	5	5	5	5
Frequenz (/min)	20	25	20	18	15	13	12
T insp (sec)	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3
Rampe (sec)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Abkürzungen: T insp: Inspirationszeit

**Abbildung 3.** Im Rahmen der Schulungsinitiative entwickelte Kitteltaschenkarten zur mechanischen Beatmung von Neugeborenen und Kindern.

Anhand von zwei theoretischen Multiple-Choice Tests mit jeweils 15 Fragen beurteilten wir sowohl prä- als auch postinterventionell das theoretische Wissen unserer Studienteilnehmer\*innen. In Zusammenarbeit mit unseren Medizindidaktiker\*innen und Fachleuten wurde ein Fragenpool von 30 etwa gleich schweren Multiple-Choice Fragen erstellt, welche wir anhand eines Probedurchlaufs mit zehn Mitarbeiter\*innen auf deren Schwierigkeit und Schlüssigkeit überprüft haben. Die Ergebnisse der Probe-Tests wurden aus der finalen Analyse exkludiert. Beide Multiple-Choice Tests umfassten mit ihren Fragen die Themen Beatmung, Oxygenierung, inhalatives Stickstoffmonoxid (iNO), Hochfrequenzoszillationsbeatmung (HFOV) und Komplikationen der mechanischen Beatmung. Zusätzlich wurde die Berufsgruppe sowie die Berufserfahrung der Teilnehmer\*innen erfasst. Anhand einer Randomisierungsliste wurden die Teilnehmer\*innen jeweils prä- und postinterventionell einer Testvariante zugeordnet.

Die praktischen Fähigkeiten unserer Studienteilnehmer\*innen bewerteten wir anhand von zwei Objective Structured Clinical Examinations (OSCEs) von ähnlichem Schweregrad mit jeweils vier klinischen Teilaufgaben, welche typische herausfordernde Situationen im Rahmen der mechanischen Beatmung von Kindern und Neugeborenen simulieren: A) Aufbau eines Beatmungsgeräts (Leoni plus, Löwenstein Medical, Bad Ems, Deutschland) inklusive des Befeuchtungssystems (Fisher & Paykel Healthcare Limited, Auckland, Neuseeland); B) Inbetriebnahme und korrekte Starteinstellung von Beatmungsparametern und Alarmgrenzen für eine\*n postoperative\*n Patient\*in (Neugeborenes, 3kg Körpergewicht, gesunde Lungen); C) Anpassung der mechanischen Beatmung anhand einer Blutgasanalyse, die eine respiratorische Azidose oder Alkalose anzeigt; D) Änderung der Beatmungsparameter als Reaktion auf plötzliche Verbesserung oder Verschlechterung der Lungencompliance mit entsprechenden Hinweisen durch Alarmsignale des Beatmungsgeräts. Diese OSCEs wurden direkt auf Intensivstation an einem modifizierten Arbeitsplatz durchgeführt. Die Bewertung der praktischen Leistung erfolgte durch Mitglieder\*innen unseres Forschungsteams. Während die Studienteilnehmer\*innen die OSCEs absolvierten, beobachtete jeweils eine Person aus unserer Forschungsgruppe die Studienteilnehmer\*innen und vergab je nach Leistung anhand von definierten Checklisten eine maximale Punktzahl von 30 Punkten. Wie bei den theoretischen Tests wurden auch hier die Studienteilnehmer\*innen anhand einer Randomisierungsliste jeweils prä- und postinterventionell einem der beiden OSCEs zugeteilt.

Vor und nach der Schulungsinitiative nahmen wir bei allen invasiv als auch nicht-invasiv beatmeten Patient\*innen auf beiden Intensivstationen unangekündigte Kontrollen der eingestellten Beatmungsparameter und Alarmgrenzen, des Monitorings, sowie des Aufbaus der Beatmungsgeräte vor. Diese klinischen Kontrollen fanden während des Klinikalltags etwa zweimal wöchentlich statt, jedoch nicht an aufeinanderfolgenden oder festgelegten Tagen, um die Unvorhersehbarkeit sicherzustellen. Die klinischen Kontrollen nahmen wir vor, um die Einhaltung unserer definierten Behandlungsziele zu dokumentieren und zu beurteilen. Ein Verstoß gegen die Behandlungsziele war wie folgt definiert: a) Aufbau des Beatmungsgeräts: Befeuchtung nicht eingeschaltet oder fehlendes/unzureichendes Wasser im Befeuchtungssystem; b) Monitor-Einstellungen: fehlende oder unvollständige Anzeige von Druck-, Volumen- und Flusskurven oder der Alarmgrenzen; c) Volumina: fehlende oder suboptimale (zu hohe oder niedrige)

Grenzwerte für Minuten- oder Tidalvolumen; d) Druckeinstellungen: Deltadruck >15 mmHg, PIP >30 mmHg, fehlende oder unangemessen hohe bzw. niedrige Grenzwerte für PEEP oder CPAP; e) Sauerstoffsättigungsgrenzen: zu hoch oder niedrig eingestellte Grenzwerte. Über die definierten Kriterien wussten nur die Studienleiter\*innen Bescheid, die Studienteilnehmer\*innen sowie das weitere Personal auf Station wurde nicht darüber informiert, um eine Verfälschung des Beatmungsmanagements zu verhindern. Aus demselben Grund verliefen die klinischen Kontrollen der Parameter diskret und subtil. Zu Beginn jedes Kontroll-Tages wurden passende Patient\*innen der Intensivstationen über das Krankenhausinformationssystem (KIS) identifiziert, per neu zugeordneter ID anonymisiert und anhand einer Excel-Tabelle dokumentiert. Daraufhin wurden die Patient\*innen durch mich gesichtet und das Beatmungsgerät selbst, die Beatmungsparameter, die Alarmgrenzen sowie das Monitoring kontrolliert und entsprechende Werte ebenfalls anhand einer Excel-Tabelle dokumentiert.

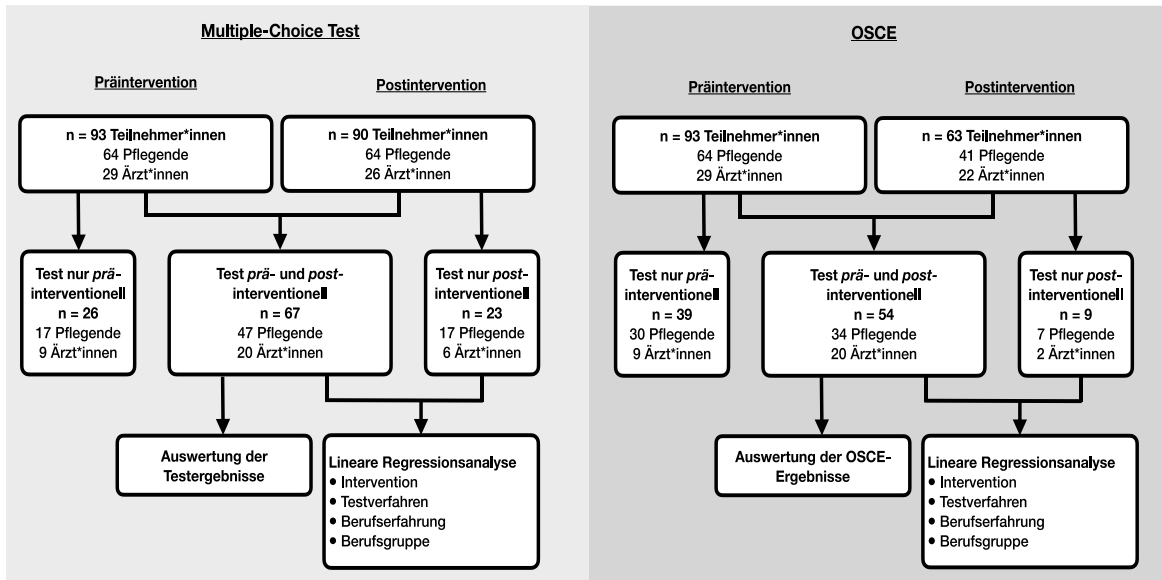
Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der statistischen Programmiersprache R 4.1.2 (R Core Team, Wien, Österreich). Ausgehend von einer durchschnittlichen Gesamtleistung von 75%, einer Standardabweichung von 15% und einer Teststärke von 90% sowie einem Signifikanzniveau von 0,05, wurde die notwendige Mindestanzahl an Studienteilnehmer\*innen von  $N = 44$  berechnet, um eine 10%ige Verbesserung der Gesamtleistung der Teilnehmer\*innen detektieren zu können. Kontinuierliche Variablen wurden als Mittelwert (95% Konfidenzintervall (KI)) angegeben. Eine randomisierte Zuteilung wurde mithilfe der Sample-Funktion in R mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% vorgenommen. Diskrete Daten wurden zwischen den Gruppen anhand des Chi-Quadrat-Tests verglichen und Effekte als Cramers V Effektstärken angegeben. Um die kontinuierlichen Variablen vor und nach der Intervention zu vergleichen wurde ein gepaarter zweiseitiger t-Test verwendet und die Effekte als Cohens D Effektstärken angegeben. Für den Leistungsvergleich wurden nur diejenigen Teilnehmer\*innen berücksichtigt, welche sowohl prä- als auch postinterventionell an den Tests teilgenommen haben. P-Werte von weniger als 0,05 wurden als signifikant angesehen. Um die möglichen Auswirkungen von unterschiedlichen Prädiktorvariablen (Studienphase, Beruf, Berufserfahrung) auf das theoretische Wissen und die praktischen Fähigkeiten der Teilnehmer\*innen zu analysieren, wurde ein lineares Regressionsmodell berechnet. Die Einhaltung der Behandlungsziele während des Studienzeitraums wurde mithilfe einer Prozessregelkarte dargestellt und die Einhaltungsraten mithilfe eines gemischten Modells analysiert, um Mehrfachmessungen pro Patient\*in zu berücksichtigen.

### **1.3 Ergebnisse**

Im Rahmen unserer Studie nahmen 47 Pflegende und 20 Ärzt\*innen sowohl prä- als auch postinterventionell an unseren theoretischen Multiple-Choice Tests teil. Unsere OSCE-Prüfungen absolvierten 34 Pflegende und 20 Ärzt\*innen prä- und postinterventionell. Des Weiteren schrieben 26 Studienteilnehmer\*innen (darunter 17 Pflegende und neun Ärzt\*innen) nur vor der Schulungsinitiative den theoretischen Test und 23 Studienteilnehmer\*innen (davon 17 Pflegende und sechs Ärzt\*innen) nur nach der Schulungsinitiative. Anhand unserer OSCE-Prüfungen wurden 39 Teilnehmer\*innen (30 Pflegende und neun Ärzt\*innen) nur präinterventionell geprüft, während neun Studienteilnehmer\*innen (sieben Pflegende und zwei Ärzt\*innen) nur postinterventionell geprüft worden sind (s. Abb.

4). Gründe für die einmalige Teilnahme an den Tests waren: Kündigung, Mutterschaftsurlaub oder Nichtverfügbarkeit. Es wurden nur die Teilnehmer mit in die Auswertung der Teamleistung einbezogen, welche sowohl prä- als auch postinterventionell an den Tests teilnahmen.

#### Teilnehmerzahlen

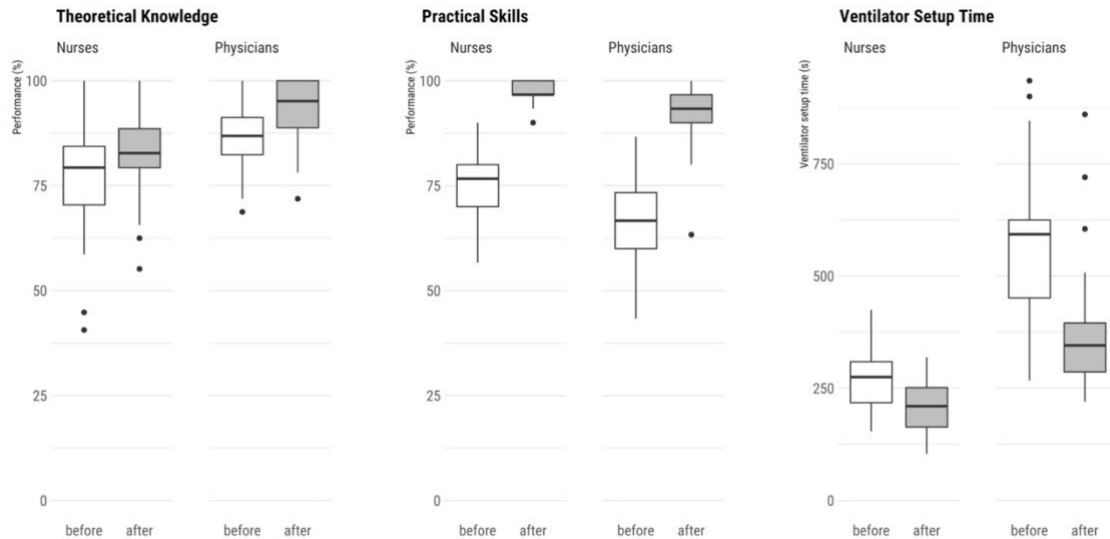


**Abbildung 4.** Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Anzahl der Teilnehmer\*innen vor und nach der Intervention sowie der durchgeführten statistischen linearen Regressionsanalyse.

Während unseres Studienzeitraums waren insgesamt 45 Pflegende auf unserer Neugeborenen-Intensivstation (NICU) und 75 Pflegende auf unserer pädiatrischen Intensivstation (PICU) tätig. Von den ärztlichen Mitarbeiter\*innen gab es 18 auf der NICU und 12 auf der PICU.

Nach der Schulungsinitiative stiegen die Leistungen der Studienteilnehmer\*innen signifikant sowohl im theoretischen Test (TT) als auch im praktischen Test (engl.: practical skill test (PST)). Im theoretischen Test verbesserten sich die Ergebnisse von 80% auf 86% ( $p < 0,001$ ,  $d = 0,61$ ), und im praktischen Test von 73% auf 95% ( $p < 0,001$ ,  $d = 2,2$ ). Besonders die Pflegenden zeigten eine starke Leistungssteigerung im theoretischen Test von 77,4% auf 82,6% ( $p < 0,001$ ,  $d = 0,562$ ), während die Ärzt\*innen eine Verbesserung von 86,2% auf 92,6% ( $p = 0,005$ ,  $d = 0,699$ ) erzielten. Auch in den OSCE-Prüfungen verbesserten sich die Pflegenden von 75,9% auf 97,5% ( $p < 0,001$ ,  $d = 2,35$ ), und die Ärzt\*innen von 67% auf 92% ( $p < 0,001$ ,  $d = 2,11$ ). Sowohl die Ärzt\*innen (präinterventionell: 578 [495 - 661] Sek. vs. postinterventionell: 390 [313 - 468] Sek.,  $p < 0,001$ ,  $d = -0,90$ ) als auch die Pflegenden (273 [249 - 297] Sek. vs. 208 [189-227] Sek.,  $p < 0,001$ ,  $d = -0,92$ ) zeigten nach der Intervention eine eindeutige Verbesserung in der Zeit zum Aufbauen eines Beatmungsgeräts (s. Abb. 5). Die Studienteilnehmer\*innen schnitten in beiden Multiple-Choice Testversionen ähnlich ab (TT1  $78,3 \pm 11,6$  vs. TT2  $76,9 \pm 9,8$ ,  $p = 0,222$ ), was auf den gleichen Schweregrad der Versionen und dessen Vergleichbarkeit hindeutet.





**Abbildung 5.** Kastengrafik (Boxplot-Diagramm) über die theoretischen Kenntnisse, die praktischen Fertigkeiten und die Zeit des Aufbaus eines Beatmungsgeräts prä- und postinterventionell bei Pflegenden und Ärzt\*innen.

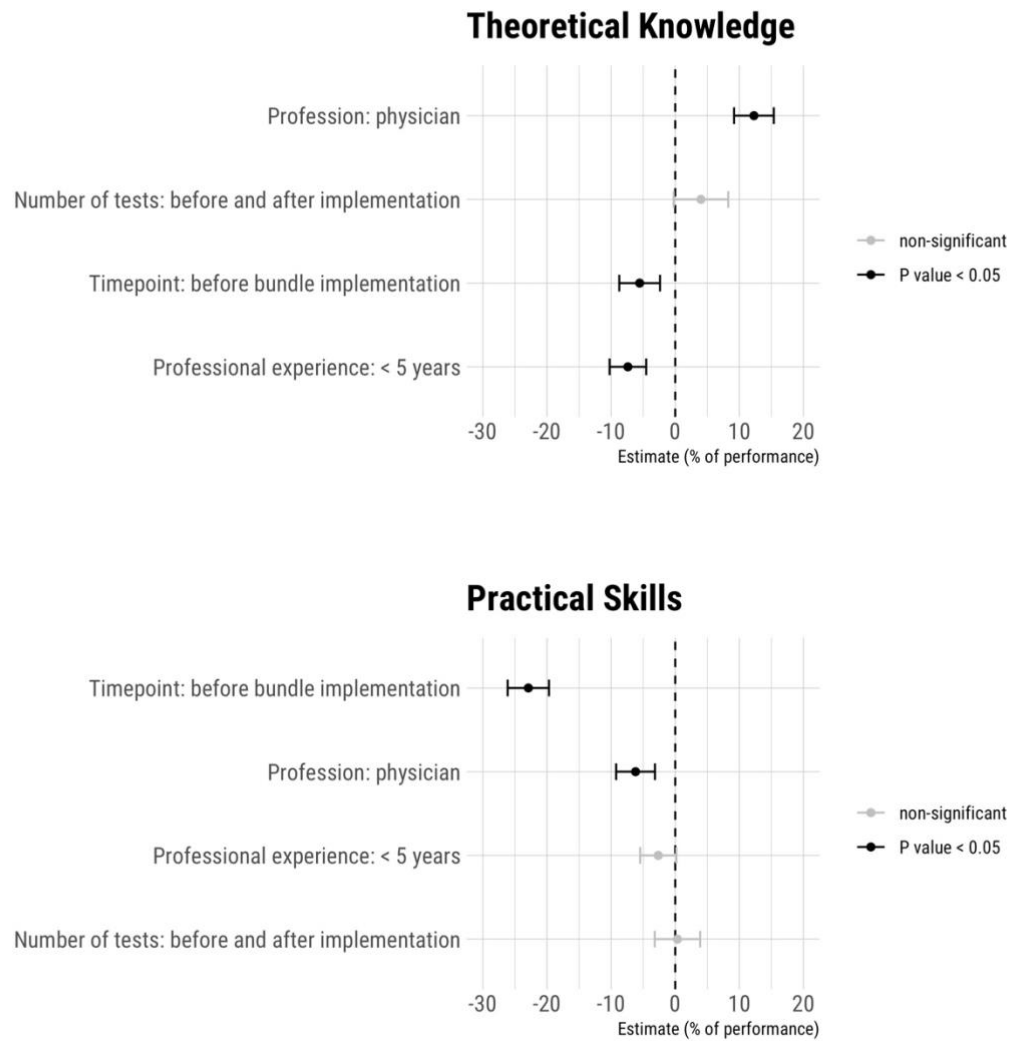
Anhand eines linearen Regressionsmodells analysierten wir den Einfluss folgender Prädiktoren auf die Leistung des Personals: die Intervention selbst, die Berufserfahrung, die Berufsgruppe und das angewandte Testverfahren. Den größten Einfluss auf die Leistungen der Studienteilnehmer\*innen hatte der Zeitpunkt der Intervention (prä- und postinterventionell) und somit die Intervention selbst (TT: -5,6 [-8,7 – 2,4]%,  $p < 0,001$ ; PST: -22,9 [-26,1 – 19,7]%,  $p < 0,001$ ). Die Berufsgruppe der Ärzt\*innen schnitt besser im theoretischen Test ab als das Pflegepersonal (12,3 [9,17 – 15,4]%), in den praktischen OSCEs jedoch schlechter (-6,2 [-9,2 – -3,2]%). Mitarbeiter\*innen mit einer Berufserfahrung von weniger als 5 Jahren absolvierten den theoretischen Test schlechter als erfahrenere Mitarbeiter\*innen (-7,38 [-10,2 – -4,5]%,  $p = 0,001$ ). Bei den OSCEs führte die Berufserfahrung jedoch zu keinem signifikanten Unterschied. Auch die nur einmalige Teilnahme an den Testverfahren hatte keinen Einfluss auf die Leistung, es war also irrelevant, ob die Teilnehmer\*innen vor und nach oder nur nach der Intervention getestet wurden (s. Abb. 6).

Besonders die unerfahrenen (0-5 Jahre Berufserfahrung) als auch die sehr erfahrenen (>15 Jahre) Mitarbeiter\*innen zeigten eine deutliche Verbesserung im theoretischen Wissen (jeweils um 5%). Auch das Selbstvertrauen im Umgang mit der mechanischen Beatmung stieg postinterventionell signifikant bei beiden Berufsgruppen (Pflege:  $p = 0,048$ ; Ärzt\*innen:  $p = 0,02$ ).

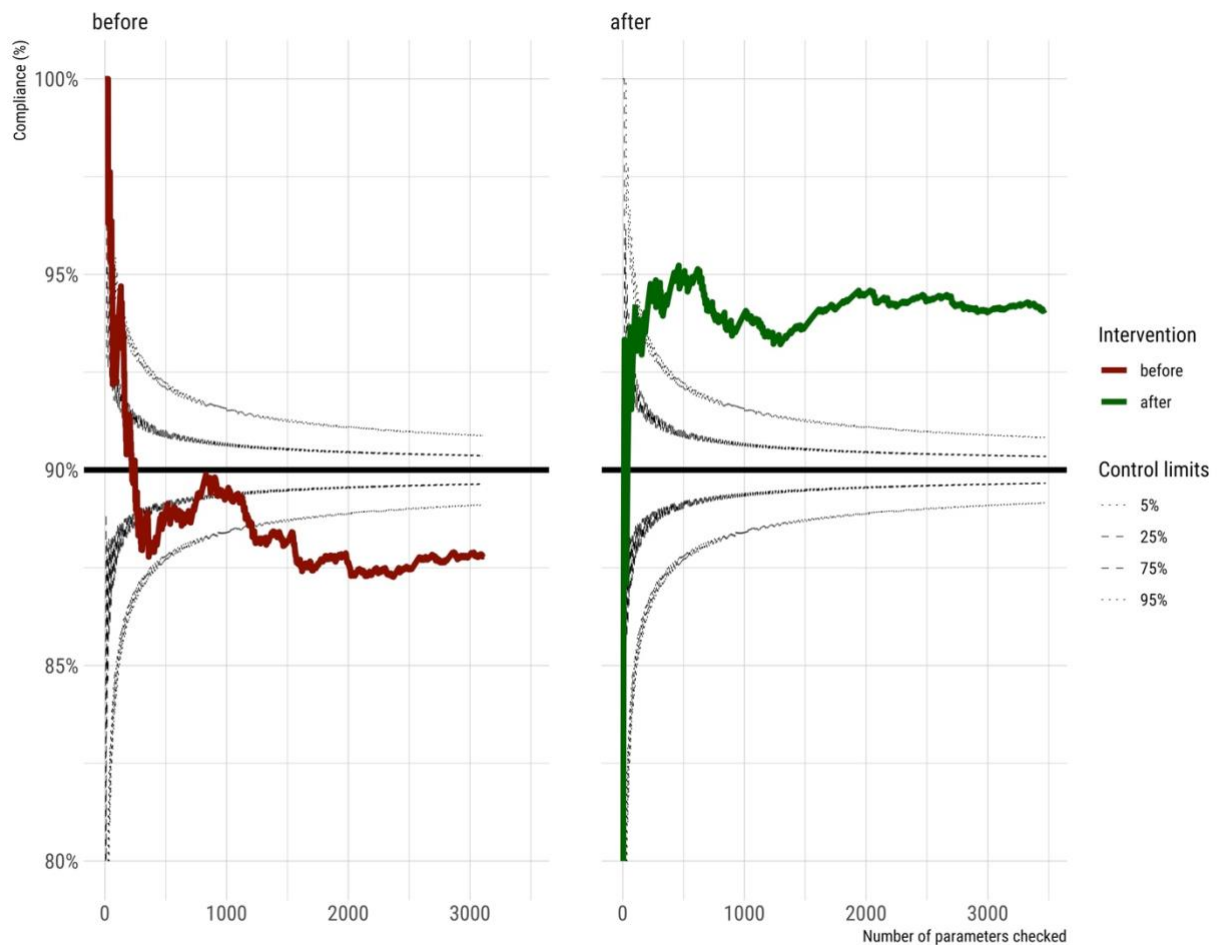
Insgesamt ermittelten wir präinterventionell (Oktober 2019 – Juni 2020) 3103 Beatmungsparameter bei 322 klinischen Stichprobenkontrollen in 105 beatmeten Patient\*innen. Postinterventionell (Januar 2021 – Juli 2021) dokumentierten wir 3476 Beatmungsparameter bei 340 klinischen Stichprobenkontrollen in 108 beatmeten Patient\*innen. Die Einhaltung der Behandlungsziele lag nach der Intervention signifikant über dem Zielwert von 90% (s. Abb. 7).

Mithilfe eines gemischten Modells und den Patient\*innen-IDs wurden Mehrfachkontrollen der Patient\*innen im Rahmen unserer klinischen Stichprobenkontrollen berücksichtigt. Die Berechnungen anhand des gemischten

Modells bestätigten, dass sich die durchschnittliche Einhaltung der Behandlungsziele signifikant um 6,7% von 87,8% präinterventionell auf 94,5% ( $p < 0,001$ ) postinterventionell erhöhte.



**Abbildung 6.** Prädiktoren für theoretisches Wissen und praktische Fähigkeiten.



**Abbildung 7.** Prozessregelkarte zur Veranschaulichung der Einhaltung der Behandlungsziele (schwarze horizontale Linie). Kontrollgrenzen prä- (dunkelrot) und postinterventionell (dunkelgrün) dargestellt als laufende Mittelwerte.

## 1.4 Diskussion

Obwohl es bei der Behandlung im Gesundheitswesen maßgeblich darauf ankommt, dass man als interdisziplinäres Team gut zusammenarbeitet, um eine qualitativ hochwertige medizinische Versorgung zu gewährleisten, gibt es nur selten interprofessionelle Schulungsinitiativen (Baker et al., 2005; Van Diggele et al., 2020). Umso wichtiger ist die Implementierung von genau solchen interprofessionellen Schulungsinitiativen.

Anhand der Implementierung unserer Schulungsinitiative zur pädiatrischen mechanischen Beatmung konnten wir die theoretischen als auch praktischen Fertigkeiten unserer Mitarbeiter\*innen signifikant verbessern. Zusätzlich kam es zu einer verbesserten Einhaltung der Behandlungsziele auf unserer neonatologischen und pädiatrischen Intensivstation, wobei das Personal bereits in der Ausgangslage gute Leistungen erbrachte (s. Abb. 5). Im Rahmen unserer Schulungsinitiative wurden zahlreiche Aspekte in Bezug auf die Einrichtung des Beatmungsgeräts, der sichtbaren Anzeige aller relevanten Beatmungsparameter und spezifischen Alarmgrenzen sowie das korrekte Patientenmonitoring während der mechanischen Beatmung standardisiert und behandelt.

Um komplexe Fähigkeiten sicher und nachhaltig zu erlernen und zu beherrschen hat sich das multimodale Lernen als wertvolle Methode erwiesen (Nicholls et al., 2016). Unser selbstproduzierter Lehrfilm zur pädiatrischen Beatmung stellte sich als effiziente, ressourcenschonende und langfristige Lernmaßnahme dar, die sowohl vor Ort in der Klinik als auch über das Intranet von zuhause aus abgerufen werden konnte und sehr positiv von den Studienteilnehmer\*innen aufgefasst wurde. Weiter benutzten wir die OSCE-Prüfungen um einerseits die praktischen Fähigkeiten unserer Studienteilnehmer\*innen objektiv zu beurteilen, andererseits aber auch um ein simulationsbasiertes Lernen zu ermöglichen. Simulationsbasiertes Lernen ist bekannterweise assoziiert mit besserer Patientenversorgung und erhöhter Patientensicherheit (Burgess et al., 2020). Besonders von Vorteil ist das simulationsbasierte Training in unserer Studie, da die äußerst risikoreiche Situation einer mechanischen Beatmung imitiert werden kann ohne unsere häufig äußerst vulnerablen Patient\*innen in Gefahr zu bringen (Burgess et al., 2020). Zusätzlich können auch nicht allzu häufig auftretende Situationen so oft wie nötig simuliert werden (O'Boyle et al., 2014).

Unsere Pflegenden erzielten beim theoretischen Multiple-Choice Test niedrigere Punktzahlen als die Ärzt\*innen, konnten jedoch dafür bei den praktischen OSCEs und besonders beim Aufbau des Beatmungsgeräts bessere Leistungen erbringen als das ärztliche Personal. Aufgrund der lokalen Aufgabenverteilung in unserer Klinik war mit dieser Erkenntnis zu rechnen. Dennoch zeigte sich in beiden Berufsgruppen eine deutlich signifikante Reduzierung der Zeit, die benötigt wird, um ein Beatmungsgerät aufzubauen und einzurichten. Am meisten Schwierigkeiten hatten die Studienteilnehmer\*innen im praktischen Teil mit dem Alarmmanagement, den Displayeinstellungen, der Auswahl der Inspirationszeit und der Anpassung der Beatmung bei Änderung der Lungencapazität.

Unerfahrenere Mitarbeiter\*innen (0 – 5 Jahre Berufserfahrung) beider Berufsgruppen schnitten im theoretischen Test schlechter ab als die erfahreneren (>5 Jahre). In Bezug auf die praktischen Leistungen spielte Unerfahrenheit als Faktor jedoch keine Rolle (s. Abb. 6), was darauf schließen lässt, dass insb. Pflegenden mit zunehmender Berufserfahrung auch zunehmend theoretisches Wissen erlangen. Interessanterweise zeigte sich für den theoretischen Test, dass besonders unerfahrenes und sehr erfahrenes Personal eine signifikante Verbesserung aufwies, während mäßig erfahrenes Personal Verbesserungen in einzelnen Themenbereichen zeigte, aber keine signifikante Steigerung der Gesamtleistung. Besonders schwierig erwiesen sich im theoretischen Test die Themen intrapulmonale Shunts, die beatmungsassoziierte Lungenentzündung sowie die Hochfrequenzoszillationsbeatmung. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass Schulungsinitiativen besonders an unerfahrenes und sehr erfahrenes Personal gerichtet sein sollten, aber alle Teilnehmenden letztendlich von einer Schulung profitieren.

Die hohe Abbruchquote in unserer Studie, die anhand der Teilnehmer\*innenzahlen an den theoretischen Tests (Pflegenden: 26%, Ärzt\*innen: 10%) und der OSCEs (Pflegenden: 47%, Ärzt\*innen: 24%) deutlich wird lässt sich auf unterschiedliche Faktoren zurückführen. Einerseits schwierige Teilnahmebedingungen, da die Studie und die theoretischen Tests als auch die OSCEs während der regulären Arbeitszeit auf Station stattfanden, Personalfluktuationen und zum Teil Demotivation bzw. mangelndes Selbstvertrauen. Möglicherweise wird jedoch durch unsere

interprofessionelle Schulung die Personalfuktuation in Zukunft abnehmen, da Hayes et al. bereits 2012 feststellten, dass eine bessere Beziehung zwischen Pflege- und Ärzt\*innenpersonal, welches durch besseres Teamwork erlangt wird, zu mehr Zufriedenheit und damit weniger Personalfuktuationen führen kann. Außerdem konnten McEwan et al. (2017) herausfinden, dass eine verbesserte Teamarbeit zu besserer interprofessioneller Kommunikation sowie Produktivität führt und damit die medizinische Versorgung insgesamt positiv beeinflusst wird.

Die Einhaltung der Behandlungsziele war nur durch stichprobenartige Kontrollen der Patient\*innen und der Beatmungsgeräte zu überprüfen. Die durchschnittliche Compliance stieg postinterventionell rapide um etwa 7% und lag damit deutlich über 90% (s. Abb. 7). Dieses hohe Level an Compliance konnte auch nach der Studie gehalten werden. Auch nach Korrektur von Mehrfachkontrollen einiger Patient\*innen anhand eines gemischten Modells erwies sich dieser Effekt als signifikant. Der falsche Aufbau eines Beatmungsgeräts, die falsche Beatmungseinstellung sowie fehlende Alarmgrenzen und mangelhafte Displayeinstellungen kamen postinterventionell signifikant seltener vor, was auf eine höhere Compliance der Behandlungsziele schließen lässt.

Unser Ziel war es, eine standardisierte und integrative Schulungsinitiative zu entwickeln, welches das Verständnis und das Bewusstsein für die Aufgaben und Herausforderungen beider Berufsgruppen stärkt. Dieses Ziel stand im Einklang mit den grundlegenden Prinzipien einer effektiven interprofessionellen Ausbildung, wie sie durch Van Diggele et al. beschrieben wurde. Des Weiteren wollten wir anhand der interprofessionellen Schulungsinitiative hierarchische Barrieren abbauen und Pflegekräfte darin bekräftigen sich aktiv zu engagieren und ihr Fachwissen mit einzubringen, um so die Patientensicherheit ebenfalls zu erhöhen.

Unseres Wissens ist diese Studie die erste, die Verbesserungen des theoretischen und praktischen Wissens der Mitarbeiter\*innen nach einer Schulungsinitiative erzielt während gleichzeitig die Einhaltung von Behandlungszielen in der pädiatrischen mechanischen Beatmung an realen Patient\*innen verbessert wird. Zukünftige Studien sollten untersuchen, ob verbesserte Kenntnisse und optimierte Einstellungen der Beatmungsgeräte zu besseren Patientenergebnissen und erhöhter Patientensicherheit bei beatmeten Kindern und Neugeborenen führen. Dazu ist es erforderlich, die in dieser Studie verwendeten Instrumente zu validieren und eine gemeinsame multizentrische, überregionale Schulungsinitiative in Zusammenarbeit mit professionellen Organisationen zu entwickeln und zu etablieren.

#### **1.4.1 Limitationen**

Unser Schulungsansatz anhand eines Maßnahmenbündels bestehend aus umfassenden und komplexen Bestandteilen, macht es schwierig, die spezifischen Auswirkungen der einzelnen Komponenten im Nachhinein zu identifizieren.

Zusätzlich führt unser monozentrisches Studiendesign dazu, dass die Generalisierbarkeit der hier erzielten Ergebnisse stark eingeschränkt ist. So kann die Rollenverteilung in anderen Zentren bei der Inbetriebnahme eines Beatmungsgeräts unterschiedlich sein oder weitere spezialisierte Fachkräfte am

Beatmungsmanagement teilnehmen, was zu einer vollkommen anderen Ausgangssituation führen würde.

Des Weiteren ist das pädiatrische Beatmungsmanagement eine komplexe Angelegenheit, für die es weder internationale Leitlinien noch allgemeingültige Vereinbarungen gibt. Dementsprechend haben wir lokale Behandlungsziele und individuelle Beatmungsgeräte-Einstellungen definiert und die Schulungsinitiative daran angepasst.

Obwohl wir den Schwierigkeitsgrad der beiden theoretischen Tests und der OSCE-Prüfungen nicht exakt bestimmt hatten, ermöglichte das Studiendesign mit Cross-over-Tests in Verbindung mit der Randomisierung der Teilnehmer\*innen und der im Anschluss folgenden Analyse der potenziellen Auswirkungen von unterschiedlichen Faktoren anhand des linearen Regressionsmodells eine solide Bewertung der Wirksamkeit der Intervention. Zusätzlich erbrachten die Teilnehmer\*innen in den beiden theoretischen Tests und OSCE-Varianten vor der Intervention ähnliche Leistungen, sodass von einem ähnlichen Schwierigkeitsgrad der beiden Tests ausgegangen werden kann. Die Verblindung der Prüfer\*innen der theoretischen Tests und OSCEs sowie bei der Durchführung der stationären Kontrollen war aufgrund des Studiendesigns nicht möglich. Mit dem Wissen, dass sie an einer Schulungsinitiative teilgenommen haben, haben die Studienteilnehmer\*innen eventuell ihr Verhalten verändert (Hawthorne-Effekt).

Trotz der genannten Limitationen konnten wir mit der hier vorgestellten Studie aufzeigen, dass eine interprofessionelle Schulungsinitiative für die pädiatrische mechanische Beatmung zu einer signifikanten Verbesserung der theoretischen und praktischen Kenntnisse der Mitarbeiter\*innen führt sowie die Einhaltung der Behandlungsziele signifikant verbessert werden können.

## **1.5 Ausblick**

Bereits seit Beginn der 2000er Jahre ist bekannt, dass eine lungenschonende Beatmung empfehlenswert ist und vor beatmungsassoziierten Schäden schützen kann (Fan et al., 2018; Heath and Hauser, 2022; Khemani et al., 2009; Kneyber et al., 2014; Sutherasan et al., 2014; Van Kaam, 2011; Wong et al., 2020). Jedoch fehlt es sonst besonders hinsichtlich der pädiatrischen mechanischen Beatmung an eindeutig formulierten und einheitlichen Leitlinien. Viele Empfehlungen bezüglich der mechanischen Beatmung von Kindern und Neugeborenen beruhen bis heute auf persönlichen Erfahrungen, Expertenmeinungen und abgeleiteten adulten Behandlungsstrategien (Heath and Hauser, 2022; Kneyber et al., 2017). Die immense Bandbreite an pädiatrischen Erkrankungen und die Vielfalt des Patient\*innenklientels erschwert zwar die Verfassung einheitlicher Empfehlungen und Leitlinien, dennoch wären diese von großem Vorteil für die sicherere medizinische Versorgung der kleinen Patient\*innen.

Bisher kommen Konsenskonferenzen wie die „Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conference (PEMVECC)“ oder die „Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference (PALICC)“ am nächsten an offizielle Leitlinien heran, indem sie anhand von vielen durchdachten Empfehlungen eine gewisse Grundlage für bestimmte Behandlungssituationen in der mechanischen Beatmung von Kindern und Jugendlichen schaffen. Von diesen bedarf es in Zukunft noch mehr und

idealerweise international einheitliche Empfehlungen, sodass daraus möglicherweise die ersten offiziellen Leitlinien für die pädiatrische mechanische Beatmung herausgearbeitet werden können.

Ebenfalls wurden zu Beginn der 2000er Jahre bereits viele medizinische Team-Training-Programme entwickelt und implementiert (Baker et al., 2005). Und obwohl das interdisziplinäre Arbeiten von großer Bedeutung ist, um die qualitativ hochwertige medizinische Versorgung der Patient\*innen zu gewährleisten, werden die an der Behandlung der Patient\*innen beteiligten unterschiedlichen Berufsgruppen nur in Ausnahmefällen zusammen geschult oder ausgebildet (Baker et al., 2005). Dementsprechend benötigt es weitere interprofessionelle Schulungsinitiativen – auch in anderen Fachbereichen – um die Zusammenarbeit im Team und somit das Outcome der Patient\*innen zu verbessern (McEwan et al., 2017; Van Diggele et al., 2020).

Maßnahmenbündel zur Prävention unerwünschter Ereignisse im Gesundheitswesen wie zum Beispiel der beatmungsassoziierten Pneumonie oder zu sonstigen Schulungszwecken sind keine Neuheit und haben sich bereits häufiger als wirksam erwiesen (Niedzwiecka et al., 2019). Dennoch werden nur in Ausnahmefällen bei üblichen Schulungsinitiativen sowohl theoretische als auch praktische Lerninhalte kombiniert vermittelt und gefestigt (Guilhermino et al., 2018). Wie Guilhermino et al. (2018) und auch wir anhand unserer durchgeführten Schulungsinitiative beweisen konnten, ist es jedoch äußerst wichtig einen besonderen Fokus bei Schulungen auf die Kombination von theoretischen und praktischen Lerninhalten zu legen, um langfristige Lernerfolge zu erzielen. Zukünftige Schulungsinitiativen und/ oder Maßnahmenbündel sollten sich dies deshalb als Ziel setzen.

Zusätzlich wird auf Grundlage dieser Publikationsdissertation deutlich, dass eine interprofessionelle multimodale Schulungsinitiative sowohl die theoretischen als auch praktischen Fertigkeiten der Mitarbeiter\*innen signifikant verbessern kann und gleichzeitig die Einhaltung der Behandlungsziele steigert. Zukünftige Studien sollten die verwendeten Instrumente unseres monozentrischen Schulungskonzepts validieren und idealerweise mit professionellen Organisationen eine multizentrische, überregionale Schulungsinitiative etablieren.

## 1.6 Literaturverzeichnis

Baker, D.P., Gustafson, S., Beaubien, J.M., Salas, E., Barach, P., 2005. Medical Team Training Programs in Health Care. *Adv. Patient Saf. Res. Implement.* 4, 253.

Brannick, M.T., Erol-Korkmaz, H.T., Prewett, M., 2011. A systematic review of the reliability of objective structured clinical examination scores: Reliability of objective structured clinical examination scores. *Med. Educ.* 45, 1181–1189.

Bresemi, I., Agosti, M., Lakshminrusimha, S., Lista, G., 2021. Synchronized invasive mechanical ventilation. *Clin. Perinatol.* 48, 813–824.

Brower, R.G., Lanken, P.N., MacIntyre, N., Matthay, M.A., Morris, A., Ancukiewicz, M., Schoenfeld, D., Thompson, B.T., 2004. Higher versus Lower Positive End Expiratory Pressures in Patients with the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N. Engl. J. Med.* 351, 327–336.

Burgess, A., Van Diggele, C., Roberts, C., Mellis, C., 2020. Tips for teaching procedural skills. *BMC Med. Educ.* 20, 458.

Caeymaex, L., Lebeaux, C., Roze, J.C., Danan, C., Reynaud, A., Jung, C., Audureau, E., 2020. Study on preventing adverse events in neonates (SEPREVEN): A stepped-wedge randomised controlled trial to reduce adverse event rates in the NICU. *Medicine (Baltimore)* 99, e20912.

Fan, E., Brodie, D., Slutsky, A.S., 2018. Acute Respiratory Distress Syndrome: Advances in Diagnosis and Treatment. *JAMA* 319, 698.

Guilhermino, M.C., Inder, K.J., Sundin, D., 2018. Education on invasive mechanical ventilation involving intensive care nurses: a systematic review. *Nurs. Crit. Care* 23, 245–255.

Hayes, L.J., O'Brien-Pallas, L., Duffield, C., Shamian, J., Buchan, J., Hughes, F., Laschinger, H.K.S., North, N., 2012. Nurse turnover: A literature review – An update. *Int. J. Nurs. Stud.* 49, 887–905.

Heath, C., Hauser, N., 2022. Is there a role for lung-protective ventilation in healthy children? *Pediatr. Anesth.* 32, 278–285.

Khemani, R.G., Conti, D., Alonzo, T.A., Bart, R.D., Newth, C.J.L., 2009. Effect of tidal volume in children with acute hypoxemic respiratory failure. *Intensive Care Med.* 35, 1428–1437.

Kneyber, M.C.J., Zhang, H., Slutsky, A.S., 2014. Ventilator-induced Lung Injury. Similarity and Differences between Children and Adults. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 190, 258–265.



- Kneyber, M.C.J., De Luca, D., Calderini, E., Jarreau, P.-H., Javouhey, E., Lopez Herce, J., Hammer, J., Macrae, D., Markhorst, D.G., Medina, A., Pons-Odena, M., Racca, F., Wolf, G., Biban, P., Brierley, J., Rimensberger, P.C., 2017. Recommendations for mechanical ventilation of critically ill children from the Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conference (PEMVECC). *Intensive Care Med.* 43, 1764–1780.
- Kogan, J.R., Holmboe, E.S., Hauer, K.E., 2009. Tools for Direct Observation and Assessment of Clinical Skills of Medical Trainees: A Systematic Review. *JAMA* 302, 1316.
- Koopman, A.A., De Jager, P., Blokpoel, R.G.T., Kneyber, M.C.J., 2019. Ventilator induced lung injury in children: a reality? *Ann. Transl. Med.* 7, 506–506.
- Lee, J.-H., Ji, S.-H., Lee, H.-C., Jang, Y.-E., Kim, E.-H., Kim, H.-S., Kim, J.-T., 2020. Evaluation of the intratidal compliance profile at different PEEP levels in children with healthy lungs: a prospective, crossover study. *Br. J. Anaesth.* 125, 818–825.
- McEwan, D., Ruissen, G.R., Eys, M.A., Zumbo, B.D., Beauchamp, M.R., 2017. The Effectiveness of Teamwork Training on Teamwork Behaviors and Team Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Interventions. *PLOS ONE* 12, e0169604.
- Nicholls, D., Sweet, L., Muller, A., Hyett, J., 2016. Teaching psychomotor skills in the twenty-first century: Revisiting and reviewing instructional approaches through the lens of contemporary literature. *Med. Teach.* 38, 1056–1063.
- Niedzwiecka, T., Patton, D., Walsh, S., Moore, Z., O'Connor, T., Nugent, L., 2019. What are the effects of care bundles on the incidence of ventilator-associated pneumonia in paediatric and neonatal intensive care units? A systematic review. *J. Spec. Pediatr. Nurs.* 24, e12264.
- Nyangeni, T., Van Rooyen, D. (R. M.), Du Plessis, A.H., Ten Ham-Baloyi, W., 2022. Quality management of objective structured clinical examinations: An integrative literature review. *Nurse Educ. Today* 109, 105223.
- O'Boyle, A.L., Mink, R.B., Anas, N.G., Kallay, T.C., 2014. Development of Learning Objectives and a Validated Testing Tool for Management of Pediatric Mechanical Ventilation. *Pediatr. Crit. Care Med.* 15, 594–599.
- Singer, S.R., Bonvillian, W.B., 2013. Two Revolutions in Learning. *Science* 339, 1359–1359.
- Sutherasan, Y., Vargas, M., Pelosi, P., 2014. Protective mechanical ventilation in the non-injured lung: review and meta-analysis. *Crit. Care* 18, 1–12.
- The Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group, 2015. Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome: Consensus Recommendations From the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr. Crit. Care Med.* 16, 428–439.

Tume, L.N., Kneyber, M.C.J., Blackwood, B., Rose, L., 2017. Mechanical Ventilation, Weaning Practices, and Decision Making in European PICUs. *Pediatr. Crit. Care Med.* 18, e182–e188.

Van Diggele, C., Roberts, C., Burgess, A., Mellis, C., 2020. Interprofessional education: tips for design and implementation. *BMC Med. Educ.* 20, 455.

Van Kaam, A., 2011. Lung-Protective Ventilation in Neonatology. *Neonatology* 99, 338–341.

Van Kaam, A.H., De Luca, D., Hentschel, R., Hutten, J., Sindelar, R., Thome, U., Zimmermann, L.J.I., 2021. Modes and strategies for providing conventional mechanical ventilation in neonates. *Pediatr. Res.* 90, 957–962.

Wong, J.J.M., Lee, S.W., Tan, H.L., Ma, Y.-J., Sultana, R., Mok, Y.H., Lee, J.H., 2020. Lung-Protective Mechanical Ventilation Strategies in Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome. *Pediatr. Crit. Care Med.* 21, 720–728.

## **2 Zusammenfassung**

### **2.1 Deutsche Version**

Unglücklicherweise gibt es bis dato keine Leitlinien oder einheitlichen Empfehlungen zur pädiatrischen mechanischen Beatmung. Dabei ist die pädiatrische mechanische Beatmung eine überlebenswichtige und durchaus komplexe Behandlungsstrategie, die selbst erfahrene Intensivmediziner\*innen vor eine Herausforderung stellt.

Mithilfe unserer interprofessionellen Schulungsinitiative wollten wir die theoretischen als auch praktischen Kenntnisse unserer Mitarbeiter\*innen nachhaltig signifikant verbessern und das Beatmungsmanagement auf unseren Intensivstationen standardisieren und somit ebenfalls die Versorgungsqualität verbessern. Außerdem zielten wir darauf ab die Einhaltung der patientenspezifischen Behandlungsziele in den ersten zwölf Monaten nach Intervention auf >90% zu steigern.

Anhand von alltagsnahen OSCE-Prüfungen, Multiple-Choice Tests und einem Lehrfilm konnten wir unsere Mitarbeiter\*innen bezüglich der pädiatrischen mechanischen Beatmung schulen. Außerdem garantierten Kitteltaschenkarten und Checklisten auf den Intensivstationen den langfristigen signifikanten Lernerfolg. Klinische Kontrollen der Beatmungsparameter und Displayeinstellungen sowie der Beatmungsgeräte selbst konnten nachweisen, dass auch die Einhaltung der Behandlungsziele mithilfe der Schulungsinitiative signifikant verbessert werden konnte und das Ziel von >90% erreicht wurde.

### **2.2 Englische Version**

Unfortunately, there are no guidelines or uniform recommendations for pediatric mechanical ventilation even though it is a vital and highly complex treatment strategy that poses a challenge even for experienced intensive care medical personnel.

We sought out to significantly improve the theoretical and practical knowledge of our employees through our interprofessional educational initiative. Additionally, we wanted to standardize our ventilation management in our intensive care units and thus improve the quality of care. Furthermore, we aimed to increase the adherence to patient-specific treatment goals to >90% in the first twelve months after intervention.

Using OSCE exams, multiple-choice tests and an educational film we were able to train our employees in pediatric mechanical ventilation. In addition, pocket cards and checklists in the intensive care units guaranteed significant long-term learning success. Clinical checks of the ventilation parameters and display settings, as well as of the ventilators themselves, showed that the educational initiative also significantly improved compliance with treatment goals and that the target of >90% was successfully achieved.

### **3 Erklärung des Eigenanteils**

Zum einen führte ich im Rahmen der Studie die klinischen Kontrollen sowohl prä- als auch postinterventionell auf Station durch und erhob die Beatmungsparameter, die Einstellungen der Alarmgrenzen, die Displayeinstellungen und den korrekten Aufbau der Beatmungsgeräte. Diese Daten wurden anhand von Excel-Tabellen durch mich dokumentiert. Zum anderen wirkte ich an der Erstellung und Korrektur des Manuskripts für die Lehrinhalte des Lehrfilms mit, welchen wir im Rahmen der Studie gedreht haben. Im Lehrfilm selbst übernahm ich die Präsentation der Begriffsdefinitionen sowie der Komplikationen der Beatmung (DOPES). Alle Autor\*innen, welche zum Zeitpunkt der Studie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf tätig waren, unterstützten bei der Durchführung der OSCEs und theoretischen Tests als Prüfer\*innen. Neben der Prüferrolle war ich dafür zuständig die prä- und postinterventionellen OSCE- und theoretischen Testergebnisse auszuwerten und digital zu dokumentieren. Dr. med. Thormen Höfeler entwickelte die Inhalte für die Kitteltaschenkarten und Checklisten, während ich diese daraufhin korrigierte und auf Schlüssigkeit kontrolliert habe. Die statistische Auswertung der Daten wurde durch PD Dr. med. Philipp Deindl vorgenommen und im Nachhinein unter anderem von mir auf Vollständigkeit und Schlüssigkeit kontrolliert. Herr Eik Vettorazzi unterstützte uns ebenfalls tatkräftig bei der statistischen Auswertung. Anhand der „PubMed“-Datenbank führte ich eine ausführliche Literaturrecherche zur mechanischen Beatmung von Neugeborenen und Kindern durch als auch zu Empfehlungen und Leitlinien dazu sowie zur korrekten und sinnvollen Durchführung von interdisziplinären Schulungen im Gesundheitswesen. Zusätzlich wirkte ich bei der Erstellung und Korrektur des englischen Manuskripts für die Publikation „Pilot study of an interprofessional pediatric mechanical ventilation educational initiative in two intensive care units“ mit.

### **4 Danksagung**

Zuallererst möchte ich besonders meinem Doktorvater PD Dr. med. Philipp Deindl danken, welcher mich durchgehend bei der Durchführung der Studie sowie der Verfassung dieser Dissertation unterstützt und motiviert hat. Außerdem gilt mein Dank dem Leiter der Sektion Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin Prof. Dr. med. Dominique Singer, der diese Arbeit erst ermöglicht hat. Großes Dankeschön auch an alle Mitarbeiter\*innen der neonatologischen Intensivstation 5H und der pädiatrischen Intensivstation K1a des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf für die Teilnahme an dieser Studie und somit ebenfalls zum Ermöglichen dieser Dissertation samt ihrer Ergebnisse. Und selbstverständlich danke ich auch allen Co-Autor\*innen der Studie, die maßgeblich zu dieser Arbeit und dessen Ergebnisse beigetragen haben und ohne die diese Studie auch nicht verwirklicht werden konnte.

Abschließend bedanke ich mich bei meinen Freund\*innen und meiner Familie, besonders bei meinen Eltern Arefa und Asif Mehrzai, für die stetige Unterstützung während meines Studiums sowie während der Verfassung dieser Dissertation.

## **5 Lebenslauf**

**Entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen.**

## **6 Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: .....