

Vorstellungen von Studierenden zum elektrischen Stromkreis

Bernadette Schorn*, Mareike Ablaß*, Alexander Voigt†

*Europa-Universität Flensburg, †Hochschule Flensburg
Bernadette.Schorn@uni-flensburg.de

Kurzfassung

Im Rahmen der Lernendenvorstellungsforschung sind seit den 1970er Jahren eine enorme Anzahl von Studien zu Themen der Physik durchgeführt worden. In den Arbeiten zum elektrischen Stromkreis zeigen sich bei Schüler:innen sowohl national als auch international eine Reihe von Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. Typische Vorstellungen wie z. B. die Stromverbrauchsvorstellung lassen sich auch bei Studierenden der Physik (Haupt- oder Nebenfach) sowie Lehramtsstudierenden der Physik feststellen (Burde et al., 2022; Fromme, 2018). Zur Untersuchung der Vorstellungen von Sachunterrichtsstudierenden und Studierenden der Ingenieurwissenschaften zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises und möglichen Veränderungen des konzeptionellen Verständnisses durch Lehrveranstaltungen wurden an der Europa-Universität Flensburg und der Hochschule Flensburg Befragungen durchgeführt. Die Datenerhebungen erfolgten mithilfe des 2T-SEC-Tests (Ivanjek et al., 2021) in einem Zwei-Gruppen-Pretest-Posttest-Design. Es werden erste Ergebnisse zum konzeptionellen Verständnis der Proband:innen zu Beginn des Studiums sowie erste Ergebnisse der Interventionsstudien vorgestellt.

1. Einleitung

Die Elektrizitätslehre gehört zu denjenigen Inhaltsbereichen der Klassischen Physik, die im Zusammenhang mit Lernendenvorstellungen sowohl national als auch international intensiv untersucht worden sind. Die Studien zeigen, dass nicht nur bei Schüler:innen, sondern auch bei Studierenden eine Vielzahl von Vorstellungen existieren, die zum Teil in deutlichem Widerspruch zu den physikalisch adäquaten Konzepten stehen, wie beispielsweise die Stromverbrauchsvorstellung (z. B. Burde et al., 2022; Fromme, 2018; Wilhelm & Hopf, 2018) oder die Vorstellung, dass eine Batterie eine konstante Stromquelle darstellt (z. B. Küçüközer & Demirci, 2008; Suryadi, Kusairi & Husna, 2020; Wilhelm & Hopf, 2018). Im Hinblick auf die Untersuchungen mit Studierenden des Grundschullehramts und der Studierenden der Ingenieurwissenschaften lassen sich ebenfalls die Stromverbrauchsvorstellung (Chang & Shieh, 2018; Fromme, 2018; Goris & Dyrenfurth, 2013; Lin, 2017), die Vorstellung, dass eine Batterie eine konstante Stromquelle darstellt (Baser, 2006; Goris & Dyrenfurth, 2013; Riegler et al., 2016) und des Weiteren beispielsweise die Vorstellung, dass die elektrische Spannung eine Eigenschaft des elektrischen Stroms ist (Fromme, 2018; Goris & Dyrenfurth, 2013; Sangam & Jesiek, 2012) oder auch die sogenannte sequenzielle Betrachtung von elektrischen Stromkreisen (Fromme, 2018; Smaill et al., 2012) feststellen.

Mit dem Ziel, die Vorstellungen von Studierenden des Grundschullehramts im Teilstudiengang Sachunterricht (im Folgenden SU-Studierende) und Studierenden der Ingenieurwissenschaften (im Folgenden

ING-Studierende) zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises und mögliche Veränderungen des konzeptionellen Verständnisses durch Lehrveranstaltungen zu untersuchen, wurden an der Europa-Universität Flensburg und der Hochschule Flensburg Befragungen durchgeführt. Die Analyse der Ergebnisse dient dazu, u. a. Aussagen hinsichtlich der folgenden übergeordneten Fragestellungen zu ermöglichen:

- Wie ist das konzeptionelle Verständnis zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises bei SU-Studierenden und ING-Studierenden zu Beginn des Studiums einzustufen?
- Lassen sich Unterschiede bei unterschiedlichen Studierendengruppen hinsichtlich des konzeptionellen Verständnisses zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises feststellen?
- Lässt sich eine Veränderung hinsichtlich des konzeptionellen Verständnisses zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises durch eine Intervention feststellen?

Zu diesen Fragestellungen werden im Folgenden erste Ergebnisse vorgestellt.

2. Untersuchungsdesign und Erhebungsinstrument

Die Datenerhebungen der bisherigen Untersuchungen erfolgten in einem Zwei-Gruppen-Pretest-Posttest-Design. Neben allgemeinen Variablen zur Beschreibung der Stichproben wurden mithilfe des Pretests bzw. des Posttests das konzeptionelle Verständnis der Studierenden zu grundlegenden Konzepten des ein-

fachen elektrischen Stromkreises zu Beginn bzw. am Ende der Vorlesungszeit erhoben. Während in den Veranstaltungen der Interventionsgruppen im Verlauf der Vorlesungszeit Inhalte zur Elektrizitätslehre behandelt wurden, waren derartige Inhalte kein Bestandteil der Veranstaltungen der Kontrollgruppen. Die Datenerhebungen zum konzeptionellen Verständnis der Studierenden erfolgten mithilfe des Two-Tier-Simple-Electric-Circuits-Tests (2T-SEC-Test), einem zweistufigen Multiple-Choice-Test zum einfachen elektrischen Stromkreis (Ivanjek et al. 2021). Dieses Testinstrument basiert u. a. auf dem Multiple-Choice-Test von von Rhöneck (von Rhöneck, 1986), dem Multiple-Choice-Test von Urban-Woldron und Hopf (Urban-Woldron & Hopf, 2012) und dem Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test (DIRECT) von Engelhardt und Beichner (Engelhardt & Beichner, 2004). Der 2T-SEC-Test umfasst 25 zweistufige Items, die aus einer inhaltlichen Fragestellung (erste Stufe) und einer Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe (zweite Stufe) bestehen. Die Items lassen sich in Items mit grundlegendem Anforderungsniveau (Items 1–11; im Folgenden Niveau 1) und Items mit höherem Anforderungsniveau (Items 12–25; im Folgenden Niveau 2) unterteilen. Mithilfe des 2T-SEC-Tests lässt sich das konzeptionelle Verständnis zu den folgenden fünf grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises untersuchen: „offene und geschlossene Stromkreise“ (drei Items, alle Niveau 1), „Reihen- und Parallelschaltungen“ (vier Items, jeweils zwei Niveau 1 bzw. Niveau 2), „elektrische Stromstärke“ (fünf Items, davon eins Niveau 1 und vier Niveau 2), „elektrischer Widerstand“ (vier Items, jeweils zwei Niveau 1 bzw. Niveau 2) und „elektrische Spannung“ (neun Items, davon drei Niveau 1 und sechs Niveau 2). Das Erhebungsinstrument ist für Schüler:innen in der Mittelstufe und höher geeignet. Unter Berücksichtigung der Kenntnis, dass SU-Studierende in der Regel in der Oberstufe das Unterrichtsfach Physik nicht belegen, wird der 2T-SEC-Test für Untersuchungen mit diesen Proband:innen als geeignet angesehen. Damit ein Vergleich mit Studierenden anderer Studiengänge möglich ist, wird der Test auch in weiteren Erhebungen mit Proband:innen wie z. B. ING-Studierenden unverändert verwendet. Darüber hinaus wird in den Erhebungen das gesamte Testinstrument eingesetzt und die Antworten der Proband:innen zu den zweistufigen Multiple-Choice-Aufgaben als richtig und mit einem Punkt bewertet, wenn sowohl die richtige Antwort auf der ersten Stufe als auch die richtige Begründung auf der zweiten Stufe ausgewählt werden. Wenn bei den Items auf einer Stufe oder auf beiden Stufen eine nicht zutreffende Antwort bzw. Begründung ausgewählt werden, werden die Antworten der Proband:innen mit null Punkten bewertet (paired scoring; siehe Ivanjek et al. 2021). Durch den Einsatz des gesamten Testinstruments sowie der Bewertung auf der Grundlage des Paired-Scoring-Modells ist der Schwierig-

keitsgrad des 2T-SEC-Tests höher im Vergleich zur Verwendung ausschließlich der Items mit Niveaus 1 sowie der möglichen Bewertung durch eine separate Punktevergabe für richtige Angaben auf jeder der beiden Stufen der Items (separate scoring; siehe Ivanjek et al. 2021). Des Weiteren wird durch die Auswertung mithilfe des Paired-Scoring-Modells die Wahrscheinlichkeit reduziert, aufgrund von Raten bei der Bearbeitung der Items einen Punkt zu erhalten (vgl. Ivanjek et al. 2021).

3. Ergebnisse

Bisher wurden in den Herbstsemestern 2021/2022 und 2022/2023 Erhebungen an der Europa-Universität Flensburg mit SU-Studierenden und im Wintersemester 2022/2023 an der Hochschule Flensburg mit ING-Studierenden durchgeführt. Um bei der Auswertung Fragebögen auszuschließen, die möglicherweise aufgrund der freiwilligen Teilnahme nicht vollständig ausgefüllt wurden, wurden diejenigen Fragebögen nicht berücksichtigt, bei denen ab einschließlich Item 19 des 2T-SEC-Tests keine Bearbeitung mehr erfolgt ist (die ersten 18 Items des 2T-SEC-Tests umfassen alle Items mit Niveau 1 und die Hälfte der Items mit Niveau 2). Somit wurden nur Fragebögen berücksichtigt, bei denen jeweils mindestens 60% der zweistufigen Multiple-Choice-Aufgaben zu den in dem Testinstrument betrachteten fünf grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises bearbeitet wurden. Unter Berücksichtigung dieses Kriteriums konnten die Pretests von insgesamt 218 SU-Studierenden (Studentinnen: $N = 185$ (85%), Studenten: $N = 33$ (15%)) im Alter von 18–47 Jahren ($m = 20,98$; $SD = 3,72$) ausgewertet werden. Die Stichprobe besteht zu 47% aus Studierenden des Teilstudiengangs „Sachunterricht mit naturwissenschaftlicher Ausrichtung“ (im Folgenden NaWi) und zu 53% aus Studierenden des Teilstudiengangs „Sachunterricht mit gesellschaftlicher Ausrichtung“ (im Folgenden GeWi) im 1. Fachsemester. Die Angaben der Proband:innen zur Art des Physikunterrichts in der Oberstufe zeigen, dass 55% der Studierenden in der Oberstufe keinen Physikunterricht hatten, 36% der Proband:innen Physik als Grundkurs (GK)/Kurs mit grundlegendem Anforderungsniveau (gA) und 6% Physik als Leistungskurs (LK)/Kurs mit erhöhtem Anforderungsniveau (eA)/Profilfach belegt hatten. Von 3% der Proband:innen liegen keine/nicht eindeutige Antworten vor. Des Weiteren geben 25% der Studierenden an, vor dem SU-Studium eine Ausbildung bzw. ein Studium begonnen oder abgeschlossen zu haben, beispielsweise im kaufmännischen Bereich (22%), als Erzieher:in bzw. sozialpädagogische/r Assistent/in (20%), im (tier)medizinischen Bereich (11%) oder für ein anderes Lehramt (7%). 74% der Studierenden geben an, vor dem SU-Studium keine Ausbildung bzw. kein Studium begonnen oder abgeschlossen zu haben und von 1% der Proband:innen liegen keine bzw. nicht eindeutige Antworten vor.

Im Hinblick auf die Erhebungen mit ING-Studierenden konnten die Pretests von insgesamt 90 Proband:innen (Studentinnen: $N = 10$ (11%), Studenten: $N = 79$ (88%), keine bzw. nicht eindeutige Antworten: $N = 1$ (1%)) im Alter von 18–41 Jahren ($m = 21,67$; $SD = 3,37$) ausgewertet werden. Die Stichprobe besteht zu 51% aus Studierenden des Studiengangs „Energiewissenschaften“ (im Folgenden EnWi), zu 38% aus Studierenden des Studiengangs „Maschinenbau“ (im Folgenden MB) und zu 3% aus Studierenden des Studiengangs „Schiffsmaschinenbau“ (im Folgenden SMB) im 1. Fachsemester sowie zu 8% aus Studierenden des Studiengangs „Schiffsbetriebstechnik“ (im Folgenden SBT) im 1. Fachsemester, das in dem Studiengang SBT dem 2. Studiensemester entspricht (im Weiteren werden die Studiengänge SMB und SBT unter dem übergeordneten Studiengang Schiffstechnik (im Folgenden ST) zusammengefasst). Die Angaben der Proband:innen zur Art des Physikunterrichts in der Oberstufe zeigen, dass 28% der Studierenden in der Oberstufe keinen Physikunterricht hatten, 46% der Proband:innen Physik als Grundkurs (GK)/Kurs mit grundlegendem Anforderungsniveau (gA) und 21% Physik als Leistungskurs (LK)/Kurs mit erhöhtem Anforderungsniveau (eA)/Profilmfach belegt hatten. Von 5% der Proband:innen liegen keine/nicht eindeutige Antworten vor. Des Weiteren geben 53% der Studierenden an, vor dem ING-Studium eine Ausbildung/ein Studium begonnen oder abgeschlossen zu haben, beispielsweise als Mechaniker:in (38%), als Elektroniker:in bzw. Elektriker:in (14%), als Mechatroniker:in (12%) oder als Techniker:in (12%). 47% der Studierenden geben an, vor dem ING-Studium keine Ausbildung bzw. kein Studium begonnen oder abgeschlossen zu haben.

Im Folgenden werden zunächst erste Ergebnisse zum konzeptionellen Verständnis sowohl von SU- als

auch ING-Studierenden zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises zu Beginn des SU- bzw. ING-Studiums auf der Grundlage des Unterrichts in der Schule und ggf. einer vorhergehenden Ausbildung bzw. eines vorhergehenden Studiums vorgestellt.

3.1. Ergebnisse zum konzeptionellen Verständnis zu Beginn des Studiums

Auf der Grundlage des Paired-Scoring-Modells ergeben sich zu Beginn der Vorlesungszeit bei den SU-Studierenden ($N = 218$) die in Abb.1 und bei den ING-Studierenden ($N = 90$) die in Abb.2 dargestellten mittleren erreichten Gesamtpunktzahlen zu den fünf untersuchten grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises. Im Durchschnitt erzielen die SU-Studierenden zwischen 18% und 54% und die ING-Studierenden zwischen 38% und 80% der möglichen Maximalpunktzahlen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den SU-Studierenden das konzeptionelle Verständnis im Allgemeinen als nicht zufriedenstellend einzustufen ist. Dabei lassen sich im Durchschnitt die meisten Schwierigkeiten bei den Konzepten „elektrische Spannung“ sowie „Reihen- und Parallelschaltungen“ und vergleichsweise die wenigsten Schwierigkeiten bei dem Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ feststellen. Im Vergleich dazu ist das konzeptionelle Verständnis bei den ING-Studierenden im Allgemeinen als besser, allerdings teilweise ebenfalls als nicht zufriedenstellend einzustufen. Die meisten Schwierigkeiten lassen sich im Durchschnitt ebenfalls bei dem Konzept „elektrische Spannung“ und die wenigsten Schwierigkeiten bei dem Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ feststellen.

Im Hinblick auf die Zugehörigkeit der Proband:innen zu den unterschiedlichen Teilstudiengängen zeigt sich, dass bei den SU-Studierenden die Unterschiede

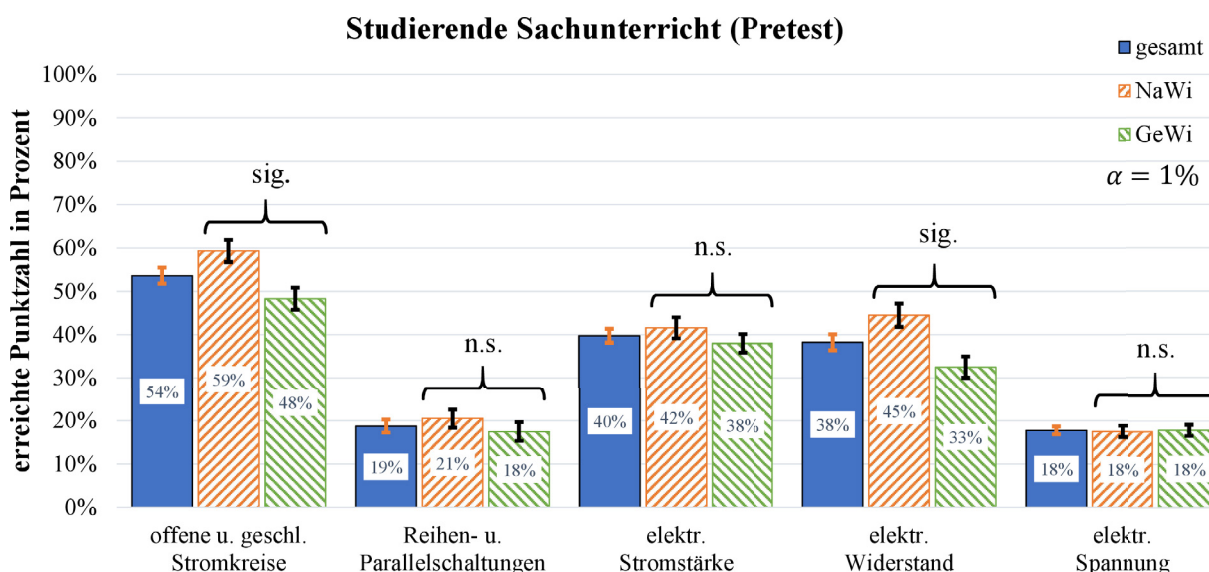


Abb.1: Mittlere erreichte Gesamtpunktzahl bei SU-Studierenden im Pretest für die einzelnen Konzepte. Die Unsicherheitsbalken zeigen die Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes (SEM).

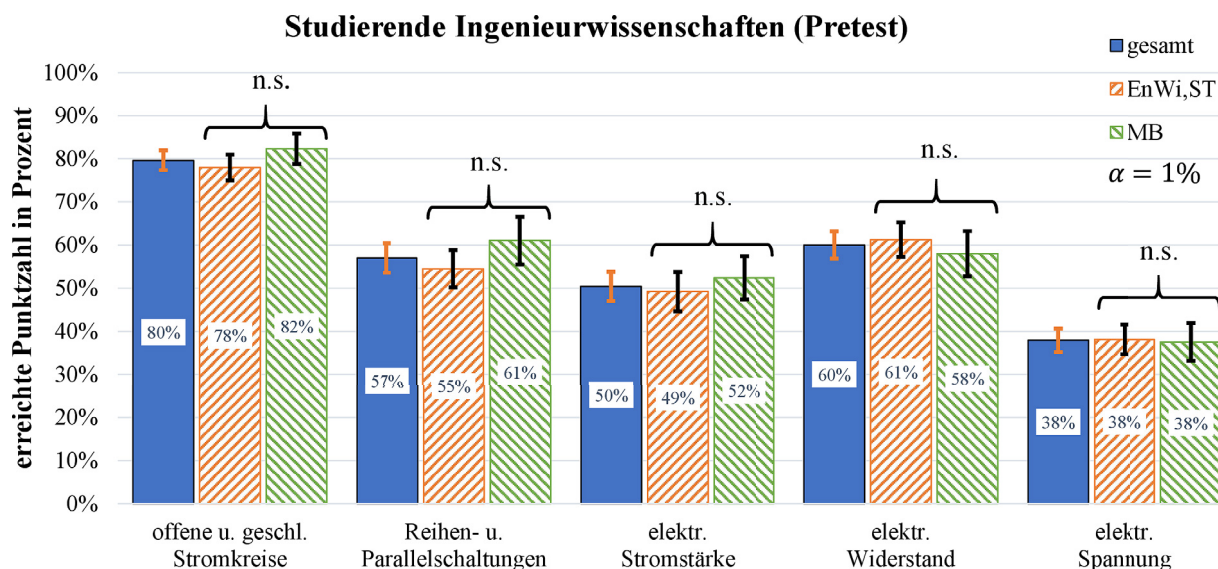


Abb.2: Mittlere erreichte Gesamtpunktzahl bei ING-Studierenden im Pretest für die einzelnen Konzepte. Die Unsicherheitsbalken zeigen die Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes (SEM).

in den im Mittel erreichten Gesamtpunktzahlen der Studierenden des Teilstudiengangs NaWi ($N = 103$; im Folgenden NaWi-Studierende) und des Teilstudiengangs GeWi ($N = 115$; im Folgenden GeWi-Studierende) bei den Konzepten „offene und geschlossene Stromkreise“ ($t_{216} = 2,989$; $p = ,003$; $g = 0,803$) und „elektrischer Widerstand“ ($t_{216} = 3,235$; $p = ,001$; $g = 1,080$) auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,01$ statistisch signifikant sind. (Für die einzelnen Konzepte wurde jeweils ein t-Test zur Untersuchung der Mittelwertunterschiede bezüglich der Teilstudiengänge durchgeführt. Da davon auszugehen ist, dass die einzelnen Konzepte miteinander in Zusammenhang stehen, wurde wegen der α -Fehlerinflation bezüglich des Signifikanzniveaus eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Daraus ergibt sich ein adjustiertes Signifikanzniveau von $\alpha = 0,01$.) Derartige statistisch signifikante Unterschiede in den durchschnittlich erreichten Gesamtpunktzahlen lassen sich in Bezug auf die unterschiedlichen Teilstudiengänge bei den ING-Studierenden nicht feststellen.

Betrachtet man das Antwortverhalten der Proband:innen bezüglich der einzelnen Items, so lässt sich feststellen, dass die meisten richtigen Angaben auf beiden Stufen der Multiple-Choice-Aufgaben sowohl bei den SU-Studierenden als auch bei den ING-Studierenden zu Item 1 des 2T-SEC-Tests zum Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ vorliegen. Bei diesem Item sind drei Reihenschaltungen mit jeweils einer Spannungsquelle, einer Glühlampe und einem geschlossenen bzw. offenen Schalter abgebildet. Auf der ersten Stufe des Items soll angegeben werden, in welchem/welchen der Stromkreise die Glühlampe leuchten wird und auf der zweiten Stufe eine Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe ausgewählt werden. Diese Aufgabe wird von 89% der SU-Studierenden und von 99% der

ING-Studierenden vollständig richtig gelöst, vgl. Tab.1.

Tab.1: Anzahl der Studierenden (in %), von denen eine richtige Lösung für die ausgewählten, in der Tabelle aufgeführten Items im Pretest vorliegt. Die mit * gekennzeichneten Items sind Niveau 1 und die mit ** gekennzeichneten Items sind Niveau 2 zugeordnet.

	„offene u. geschl. Stromkreise“		„elektr. Widerstand“		„elektr. Spannung“	
Item	1*	11*	5*	16**	14**	21**
SU-Stud.	89%	31%	31%	53%	2%	1%
ING-Stud.	99%	61%	57%	74%	12%	18%

Betrachtet man das Antwortverhalten der Proband:innen hinsichtlich eines inhaltlich vergleichbaren Items des Konzepts „offene und geschlossene Stromkreise“ ebenfalls mit Niveau 1 (Item 11 des 2T-SEC-Tests), in dem eine Reihenschaltung mit einer Spannungsquelle und zwei Glühlampen abgebildet ist und ein offener Stromkreis aufgrund einer kaputten Glühlampe in der Reihenschaltung vorliegt, so lässt sich feststellen, dass dieses Item von 31% der SU-Studierenden und 61% der ING-Studierenden, d. h. einer (deutlich) geringeren Anzahl von Proband:innen vollständig richtig gelöst wird. Der Vergleich dieser Ergebnisse zeigt somit, dass in Bezug auf diese inhaltlich vergleichbaren Items das Antwortverhalten der Studierenden nicht stabil ist, sondern vom Kontext der Aufgabenstellung abhängt.

Eine Abhängigkeit des Antwortverhaltens bei inhaltlich vergleichbaren Items vom Kontext der Aufgabenstellung, lässt sich beispielsweise, wenn auch nicht so stark ausgeprägt, zudem bei den Items 5 und 16 des 2T-SEC-Tests zum Konzept „elektrischer Wi-

Tab.2: Mittelwerte und Standardabweichungen für NaWi- und GeWi-Studierende im Pre- und Posttest (Spalten 3–6), zu verschiedenen Messzeitpunkten gemittelt über die Teilstudiengänge (Spalten 7–8), sowie für die verschiedenen Teilstudiengänge gemittelt über die Messzeitpunkte (Spalten 9–10).

Konzept		NaWi		GeWi		Messzeitpunkt		Teilstudiengang	
		pre	post	pre	post	pre	post	NaWi	GeWi
„offene u. geschl. Stromkreise“ (3)	<i>m</i>	1,72	2,20	1,49	1,41	1,60	1,79	1,96	1,45
	<i>SD</i>	0,781	0,795	0,847	0,860	0,821	0,915	0,785	0,850
„Reihen- u. Parallel-Schaltungen“ (4)	<i>m</i>	0,86	1,65	0,80	0,93	0,83	1,27	1,26	0,87
	<i>SD</i>	0,933	1,316	0,987	1,054	0,958	1,236	1,136	1,017
„elektr. Stromstärke“ (5)	<i>m</i>	1,98	3,42	1,93	1,87	1,96	2,61	2,70	1,90
	<i>SD</i>	1,256	1,014	1,208	1,296	1,227	1,398	1,137	1,248
„elektr. Widerstand“ (4)	<i>m</i>	1,82	1,75	1,44	1,39	1,62	1,56	1,79	1,42
	<i>SD</i>	1,117	1,335	1,112	1,183	1,125	1,267	1,226	1,144
„elektr. Spannung“ (9)	<i>m</i>	1,55	2,71	1,71	1,59	1,64	2,13	2,13	1,65
	<i>SD</i>	1,212	1,765	1,320	1,357	1,267	1,659	1,508	1,334

derstand“ feststellen: Bei beiden Items sind jeweils zwei Reihenschaltungen mit einer Spannungsquelle, einem Amperemeter sowie in einem Fall mit einer bzw. zwei identischen Glühlampen (Item 5) und im anderen Fall mit einem bzw. zwei identischen elektrischen Widerständen (Item 16) abgebildet. Auf der ersten Stufe der Aufgaben soll jeweils angegeben werden, inwiefern sich die mit Hilfe der Amperemeter gemessene elektrische Stromstärke durch die Anzahl der Widerstände bzw. der Glühlampen im Stromkreis ändert und auf der zweiten Stufe eine Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe ausgewählt werden. Im Fall der Aufgabenstellung mit Glühlampen als Bauelementen (Niveau 1) werden von 31% der SU-Studierenden und von 57% der ING-Studierenden und im Fall der Aufgabenstellung mit elektrischen Widerständen als Bauelementen (Niveau 2) werden von 53% der SU-Studierenden und von 74% der ING-Studierenden auf beiden Stufen die richtigen Antwortvorgaben gewählt.

Die mit Abstand am wenigsten auf beiden Stufen korrekt bearbeiteten Multiple-Choice-Aufgaben sind zwei Items mit Niveau 2 (Item 14 und Item 21 des 2T-SEC-Tests) des Konzepts „elektrische Spannung“: Bei Item 14 ist eine Reihenschaltung mit einer Spannungsquelle, einem geschlossenen Schalter und einer Glühlampe abgebildet. Es soll angegeben werden, welche Spannung zwischen den Anschlüssen des Schalters sowie zwischen den Anschlüssen der Glühlampe anliegt und eine Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe ausgewählt werden. Diese Aufgabenstellung wird von 2% der SU-Studierenden bzw. von 12% der ING-Studierenden vollständig richtig gelöst. Bei Item 21 ist eine Reihenschaltung mit einer Spannungsquelle und einer Glühlampe abgebildet. Zudem sind auf einem elektrischen Leiter drei nebeneinander liegende Punkte markiert, zwischen denen sich keine Bauteile befinden. Es soll angegeben werden, welche Spannung zwischen den Punkten anliegt und eine Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe ausgewählt

werden. Diese Aufgabenstellung wird von 1% der SU-Studierenden und von 18% der ING-Studierenden vollständig richtig gelöst.

3.2. Ergebnisse der Interventionsstudie mit SU-Studierenden zum konzeptionellen Verständnis

Zur Untersuchung einer möglichen Veränderung des konzeptionellen Verständnisses der SU-Studierenden zum einfachen elektrischen Stromkreis aufgrund von Lehrveranstaltungen wurde eine Interventionsstudie mit den NaWi-Studierenden als Interventionsgruppe und den GeWi-Studierenden als Kontrollgruppe durchgeführt. Die Intervention bestand aus einer Vorlesung zu Grundlagen der Physik, einem zugehörigen Laborpraktikum und Tutorium. In den Veranstaltungen wurden neben Inhalten zur Elektrizitätslehre auch die Themen Mechanik, Wärmelehre, Optik Atomphysik und Physik des Wetters behandelt. In Tab.2 sind auf der Grundlage der Daten der Proband:innen, von denen zu beiden Erhebungszeitpunkten Daten vorliegen ($N = 135$), die Mittelwerte (m) für die erreichten Gesamtpunktzahlen der NaWi-Studierenden (Interventionsgruppe, $N = 65$) und GeWi-Studierenden (Kontrollgruppe, $N = 70$) jeweils für den Pretest ($m_{NaWi,pre}$, $m_{GeWi,pre}$) und Posttest ($m_{NaWi,post}$, $m_{GeWi,post}$), die erreichten Gesamtpunktzahlen gemittelt über die Teilstudiengänge (m_{pre} , m_{post}) und die erreichten Gesamtpunktzahlen gemittelt über die Messzeitpunkte (m_{GeWi} , m_{NaWi}) angegeben, jeweils einschließlich der zugehörigen Standardabweichungen (SD).

Zur Untersuchung, ob hinsichtlich des konzeptionellen Verständnisses zu den einzelnen Konzepten (abhängige Variable) statistisch signifikante Mittelwertunterschiede sowohl in Bezug auf die Studierenden der Teilstudiengänge NaWi und GeWi als auch bezüglich der zwei Messzeitpunkte Pretest und Posttest sowie eine Wechselwirkung dieser beiden Faktoren vorliegen, wurden für jedes Konzept eine univariate zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung mit dem Gruppenfaktor Teilstudiengang und dem Messwiederholungsfaktor Messzeit-

Tab.3: Statistische Kennzahlen der ANOVAs mit Messwiederholung für die einzelnen Konzepte. Hervorgehoben sind die Kennzahlen der Faktoren und Wechselwirkungen, die unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen und der zugehörigen Interaktionsdiagramme interpretiert werden können.

Konzept	Teilstudiengang				Messzeitpunkt				Messzeitpunkt*Teilstudiengang				Art
	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	η_{part}^2	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	η_{part}^2	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	η_{part}^2	
„offene u. geschl. Stromkreise“	18,121	1	< ,001	,120	7,308	1	,008	,052	13,364	1	< ,001	,097	hybrid
„Reihen- u. Parallelschaltungen“	5,889	1	,017	,042	23,535	1	< ,001	,150	12,147	1	< ,001	,084	ordinal
„elektr. Stromstärke“	24,374	1	< ,001	,155	28,602	1	< ,001	,177	33,560	1	< ,001	,201	hybrid
„elektr. Widerstand“	5,324	1	,023	,038	0,218	1	,641	,002	0,000	1	,986	,000	
„elektr. Spannung“	6,758	1	,010	,048	10,062	1	,002	,070	15,742	1	< ,001	,106	disordinal

punkt durchgeführt. (Da davon auszugehen ist, dass die einzelnen Konzepte miteinander im Zusammenhang stehen, wurde wegen der α -Fehlerinflation bezüglich des Signifikanzniveaus eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Daraus ergibt sich ein adjustiertes Signifikanzniveau von $\alpha = 0,01$.) In Tab.3 sind die Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVAs mit Messwiederholung zu den untersuchten fünf grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises dargestellt.

Aus den interpretierbaren Ergebnissen der zweifaktoriellen ANOVAs mit Messwiederholung geht unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Standardabweichungen in Tab.2 folgendes hervor: Hinsichtlich der Konzepte „offene und geschlossene Stromkreise“ und „elektrische Stromstärke“ ist die durchschnittlich erreichte Gesamtpunktzahl bei den NaWi-Studierenden unabhängig vom Messzeitpunkt statistisch signifikant größer als bei den GeWi-Studierenden; bei den Konzepten „Reihen- und Parallelschaltungen“ und „elektrischer Widerstand“ liegen keine statistisch signifikanten Mittelwertunterschiede bezüglich der erreichten Gesamtpunktzahlen bei den NaWi- und GeWi-Studierenden unabhängig vom Messzeitpunkt vor. Hinsichtlich des Konzepts „Reihen- und Parallelschaltungen“ ist die durchschnittlich erreichte Gesamtpunktzahl der Studierenden unabhängig vom Teilstudiengang im Posttest statistisch signifikant größer als im Pretest; beim Konzept „elektrischer Widerstand“ liegt kein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied bezüglich der erreichten Gesamtpunktzahlen im Pre- und Posttest unabhängig vom Teilstudiengang vor. Darüber hinaus liegen für die Konzepte „offene und geschlossene Stromkreise“, „Reihen- und Parallelschaltungen“, „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ statistisch signifikante Wechselwirkungen vor: Die durchschnittlich erreichte Gesamtpunktzahl der NaWi-Studierenden ist im Posttest jeweils statistisch signifikant größer als im Pretest, d. h. $m_{NaWi,post} > m_{NaWi,pre}$. Der Anstieg der mittleren Gesamtpunktzahl der NaWi-Studierenden zwischen Pre- und Posttest,

$m_{NaWi,post} - m_{NaWi,pre}$, ist zudem statistisch signifikant größer als die betragsmäßige Änderung der durchschnittlich erreichten Gesamtpunktzahlen der GeWi-Studierenden zwischen Pre- und Posttest, d. h.

$$m_{NaWi,post} - m_{NaWi,pre} > |m_{GeWi,pre} - m_{GeWi,post}|. \quad \{1\}$$

Dies deutet auf die Intervention als mögliche Ursache für die statistisch signifikante Verbesserung des konzeptionellen Verständnisses hinsichtlich der genannten Konzepte bei den NaWi-Studierenden hin. Hinsichtlich des Konzepts „elektrischer Widerstand“ liegt keine statistisch signifikante Wechselwirkung vor.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Im Hinblick auf die ersten zwei in diesem Beitrag beleuchteten übergeordneten Fragestellungen zeigen die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen, dass das konzeptionelle Verständnis der SU-Studierenden zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises zu Beginn des SU-Studiums mit im Durchschnitt zwischen 18% und 54% der möglichen Maximalpunktzahlen als nicht zufriedenstellend einzustufen ist. Die meisten Schwierigkeiten liegen bei den Konzepten „elektrische Spannung“ sowie „Reihen- und Parallelschaltungen“ und die im Vergleich wenigsten Schwierigkeiten liegen bei dem Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ vor. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von Ivanjek et al. (2021) zu den durchschnittlichen Itemschwierigkeiten im Zusammenhang mit der Entwicklung des 2T-SEC-Tests. Im Hinblick auf die ING-Studierenden lässt sich feststellen, dass das konzeptionelle Verständnis zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises zu Beginn des ING-Studiums mit im Durchschnitt zwischen 38% und 80% der möglichen Maximalpunktzahlen im Allgemeinen als besser, allerdings teilweise ebenfalls als nicht zufriedenstellend einzustufen ist. Bei diesen Proband:innen liegen die meisten Schwierigkeiten bei dem Konzept „elektrische Spannung“ und die we-

nigsten Schwierigkeiten bei dem Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ vor. Bei der Analyse des Antwortverhaltens zu den einzelnen Items des Erhebungsinstruments zeigt sich darüber hinaus zum einen vergleichbar mit den Befunden von Ivanjek et al. (2021) sowie Engelhardt & Beichner (2004) innerhalb eines Konzepts bei inhaltlich vergleichbaren Items eine Abhängigkeit der Anzahl der auf beiden Stufen korrekt bearbeiteten Multiple-Choice-Aufgaben vom Kontext der Aufgabenstellung. Dies deutet darauf hin, dass die Konzepte der Proband:innen möglicherweise nicht stabil sind, sondern spontan während der Bearbeitung der Testitems entstehen (vgl. Knowledge-in-pieces-Theorie; siehe diSessa, 1993). Zum anderen lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der auf beiden Stufen korrekt bzw. falsch bearbeiteten Multiple-Choice-Aufgaben und dem den Items zugeordneten grundlegenden bzw. höheren Anforderungsniveau feststellen. Im Hinblick auf die dritte in diesem Beitrag beleuchtete übergeordnete Fragestellung zeigen die Ergebnisse der Interventionsstudie mit SU-Studierenden, dass sich das konzeptionelle Verständnis der NaWi-Studierenden zu den Konzepten „offene und geschlossene Stromkreise“, „Reihen- und Parallelschaltungen“, „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ nach der Intervention im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Intervention statistisch signifikant verbessert hat. Allerdings ist das konzeptionelle Verständnis hinsichtlich der erhobenen Konzepte zum einfachen elektrischen Stromkreis trotz einer Verbesserung als nicht zufriedenstellend einzustufen. Im Rahmen der Studien zum konzeptionellen Verständnis und den Vorstellungen von Studierenden zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises ist im Weiteren geplant, weitere Untersuchungen mit SU-Studierenden zu verschiedenen Zeitpunkten im Verlauf des Studiums durchzuführen, um eine Aussage über mögliche Veränderungen des konzeptionellen Verständnisses während des Studiums treffen zu können. Zudem sind weitere Interventionsstudien mit ING-Studierenden geplant, um statistische Analysen mit einem größeren Stichprobenumfang durchführen zu können. Darüber hinaus soll eine Analyse der dem konzeptionellen Verständnis der Studierenden zugrundeliegenden Lernendenvorstellungen erfolgen.

5. Literatur

- Baser, M. (2006): Effects of Conceptual Change and Traditional Confirmatory Simulations on Pre-Service Teachers' Understanding of Direct Current Circuits. In: *Journal of Science Education and Technology*, 15 (5), 367–381.
- Burde, J.-P., Ivanjek, L., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L., Spatz, V. & Hopf, M. (2022): Schülervorstellungen in Schule und Studium – ein Vergleich. In: S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Virtuelle Jahrestagung 2021*. (S. 372). Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Universität Duisburg-Essen
- Chang, W. & Shieh, R. S (2018): A study of the conceptual comprehension of electric circuits that engineer freshmen display. In: *European Journal of Physics*, 39 (4), 045705.
- diSessa, A. A. (1993): Toward an epistemology of physics. In: *Cognition and instruction*, 10 (2–3), 105–225.
- Engelhardt, P. V. & Beichner, R. J. (2004): Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. In: *American Journal of Physics*, 72 (1), 98–115.
- Fromme, B. (2018): Fehlvorstellungen bei Studienanfängern: Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I? In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung – Würzburg 2018*.
- Goris, T. V. & Dyrenfurth, M. J. (2013): How Electrical Engineering Technology Students Understand Concepts of Electricity. Comparison of Misconceptions of Freshmen, Sophomores, and Seniors. In: *American Society for Engineering Education*. 120th ASEE Annual Conference & Exposition.
- Ivanjek, L., Morris, L., Schubatzky, T., Hopf, M., Burde, J.-P., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L., Spatz, V. & Wilhelm, T. (2021): Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. In: *Physical Review Physics Education Research*, 17 (2).
- Küçüközer, H. & Demirci, N. (2008): Pre-Service and In-Service Physics Teachers' Ideas about Simple Electric Circuits. In: *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 4 (3), 303–311.
- Lin, J.-W. (2017): A Comparison of Experienced and Preservice Elementary School Teachers' Content Knowledge and Pedagogical Content Knowledge about Electric Circuits. In: *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13 (3), 835–856.
- Riegler, P., Simon, A., Prochaska, M., Kautz, C., Bierwirth, R., Hagendorf, S. & Kortemeyer, G. (2016): Using Tutorials in Introductory Physics on circuits in a German university course: observations and experiences. In: *Physics Education*, 51 (6), 065014.
- von Rhöneck, C. (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, 34 (13), 10–14.
- Sangam, D. & Jesiek, B. K. (2012): Conceptual Understanding of Resistive Electric Circuits Among First-Year Engineering Students. In:

American Society for Engineering Education.
ASEE Annual Conference & Exposition.

Smaill, C. R., Rowe, G. B., Godfrey, E. & Paton, R. O. (2012): An Investigation Into the Understanding and Skills of First-Year Electrical Engineering Students. In: *IEEE Transaction on education*, 55 (1), 29–35.

Suryadi, A., Kusairi, S. & Husna, D. A. (2020): Comparative Study of Secondary School Students' and Pre-Service Teachers' Misconception about Simple Electric Circuit. In: *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 16 (2) 111–121.

Urban-Woldron, H. & Hopf, M. (2012): Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 201–227.

Wilhelm, T. & Hopf, M. (2018): Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In: H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer-Spektrum, 115–138.