

有效失败视角下在线协作对师范生学习的影响研究

FormatResearch on the Impact of Online Collaboration on Pre-service Teachers' Learning from the Perspective of Productive Failure

王百艺¹, 苟江凤¹, 宋汶樾¹, 李荣娜¹, 杨九民^{1*}

¹ 华中师范大学 人工智能教育学部, 湖北 武汉 430079

* yjm@mail.ccnu.edu.cn

【摘要】 本研究聚焦于提升师范生数字化教学能力, 通过引入有效失败教学模式与在线协作学习, 对 108 名师范生开展了课堂实证研究。研究发现, 在生成探索阶段采用在线协作生成方式, 并在巩固整理阶段实施在线协作纠错, 能显著提升师范生的信息化教学设计方案质量水平和学习效果, 然而, 对其自我调节学习水平提升无显著影响。此外, 师范生在巩固整理阶段的信息化教学设计方案质量优于生成探索阶段。这一发现扩展了有效失败教学模式的应用范围, 也为师范生课堂创新提供了实践指导与理论贡献, 强调了在线协作在数字化教学能力培养中的重要性。

【关键词】 有效失败; 在线协作; 师范生学习

Abstract: This study focuses on enhancing digital teaching competencies of pre-service teachers through the introduction of the productive failure teaching model and online collaborative learning, with an empirical classroom study conducted among 108 participants. Results show that online collaboration in exploration and error correction enhances design quality and learning outcomes, but not self-regulated learning. Designs in the consolidation phase outperformed those in exploration. This expands the application of productive failure and offers practical guidance and theoretical contributions to pre-service teacher classroom innovation, emphasizing the importance of online collaboration in developing digital teaching competencies.

Keywords: productive failure, online collaboration, learning of pre-service teachers

1. 引言

随着教育信息化进程的深入, 新时代教师的信息化教学能力已成为教育领域关注的焦点。2018 年, 教育部正式颁布了《师范生信息化教学能力标准》, 明确要求未来教师应具备扎实的信息化教学技能(任友群等人, 2018)。这一标准为师范生信息化教学能力的培养提供了明确的方向。随后, 2022 年发布的《教师数字素养》进一步细化了教师数字素养的内涵, 将其划分为数字技术知识与技能、数字化意识、数字化应用、数字社会责任以及专业发展五个方面(牟艳娜, 2023)。这一框架不仅强调教师需灵活运用数字技术解决实际问题, 更突出其优化和创新教育教学的能力。今年, 中央网信办等四部门联合发布了《2024 年提升全民数字素养与技能工作要点》, 提出教师数字素养的提升是教育现代化发展的关键。由此可见, 教师培养体系中对信息化教学能力的重视程度和具体要求正持续深化。

然而, 当前师范生培养中仍存在不足。尽管多数高等院校已开设了信息化教学课程, 但师范生对这些课程的满意度普遍不高, 且其信息化教学能力水平整体偏低(Chai et al., 2015)。这些问题不仅影响了师范生的职业竞争力, 也制约了教育信息化推进的进程。因此, 探索创新的教学模式以提升师范生的信息化教学能力已成为迫切需求。

2. 文献综述

2.1. 有效失败教学模式

有效失败教学 (productive failure) 作为一种创新的教学模式, 由 Manu Kapur 教授于 2008 年提出, 该模式结合了初始问题解决阶段与后续直接指导阶段, 具体分为生成探索阶段和整理巩固阶段 (Kapur & Bielaczyc, 2011)。在生成探索阶段, 学生面对挑战性问题, 通过尝试与探索激发求知欲和深度思考。尽管可能经历失败, 这一阶段旨在通过反思失败经验, 培养学生的问题解决能力和批判性思维。整理巩固阶段则由教师提供指导, 帮助学生纠正错误、整合新知, 巩固学习。从而深化对知识的理解与掌握, 提升学习的保持和迁移效果。因此, 即使学生在初步的探索阶段未能得出正确的解决方案, 通过反思错误与调整认知, 在整理与巩固阶段中能从失败中学习, 从而提升知识建构能力与学习效果。

已有研究表明, 有效失败教学对学生学习具有显著影响。例如, 融入翻转课堂的对比实验显示, 有效失败教学在促进学生掌握概念性知识方面优于传统翻转课堂 (Song & Kapur, 2020)。在科学教育中, 失败驱动脚手架干预组学生的建设性推理能力高于成功驱动脚手架组 (Sinha & Kapur, 2021)。此外, 交互式学习环境中引入有效失败教学, 可加深学生对知识的理解并提升学习效果 (Holmes et al., 2014)。

然而, 有效失败教学的适用性存在年龄差异。例如, 有研究发现, 低年级学生元认知能力较弱, 在小学五年级数学课堂中有效失败教学未能表现出显著优势, 该模式可能更适合高年级学生 (Mazziotti et al., 2019)。同时, 大量研究聚焦于生成探索阶段的作用, 认为该阶段能激发学习者的先验知识, 并通过元认知支持和情绪支持等方式优化学习效果 (Hod, Basil-Shachar, & Sagy, 2018)。但对于整理巩固阶段的研究较为少, 这限制了对有效失败教学完整作用机制的探讨。

2.2. 在线协作学习

在线协作学习依托计算机网络和工具, 能够突破时间与空间限制, 通过小组共享知识、协同解决问题, 并达成既定的学习目标 (Dillenbourg, 2000)。相较于传统课堂协作, 在线协作能提高学习绩效、社交技能、解决问题能力 (Ng, Chan, & Lit, 2022; Meijer, Hoekstra, & Brouwer, 2020; Rosen, Wolf, & Stoeffler, 2020)。在师范教育领域, 实验研究表明, 在线协作学习能提高师范生的信息化教学设计能力 (Chen, Tan, & Pi, 2021)。尽管如此, 在线协作学习仍存在挑战, 例如, 缺乏信息丰富的讨论呈现和实时反馈会导致学习效率下降, 因此需采用可视化平台并要求学习者进行实时反馈 (Chen et al., 2021)。此外, 在在线协作时使用 CSCL 脚本能提高讨论效果 (Zheng et al., 2023), 在线自我调节学习对在线学习成功至关重要 (蔡旻君等人, 2020)。

2.3. 有效失败教学下的协作学习

有效失败教学与协作学习的结合已在多个场景中展现出优势, 主要表现在能够提高学生的概念性知识理解和迁移能力, 以及复杂问题的解决能力 (Kapur & Bielaczyc, 2012)。研究表明, 在生成探索阶段中, 学生采取小组合作方式学习数学概念“方差”比个人单独探究更容易激活先前知识。因为这种方式能够创造一个积极、互动的学习环境, 促进学生对复杂数学概念的理解和掌握。通过同伴间的信息交流和合作探索, 引导学生生成更多解决方案, 能够更好地激活先验知识, 建立新的认知连接, 从而提高学习效果 (Kapur & Bielaczyc, 2011; Brand et al., 2023)。尽管协作学习在有效失败教学模式中的优势已被多项研究证实, 但也存在局限性。例如, 研究发现, 协作学习过程中可能出现协作抑制现象, 即由于小组成员间的沟通冲突或信息不对称, 个体的想法表达受到抑制, 从而影响协作学习的效果 (Brand et al., 2023)。在这种情况下, 协作条件并未表现出优于个人条件的显著效果。研究表明, 良好的协作氛围和明确的分工能缓解协作抑制 (Weinberger & Fischer, 2010)。为了防止协作抑制对研究的干预, 本研究采用自愿分组情况, 保证良好的协作氛围; 并制定好协作脚本, 明确分工。

综上所述, 有效失败教学能够对学生学习产生积极影响, 但更适合高年级学生, 而且当前研究主要集中于生成探索阶段, 整理巩固阶段的协作研究相对较少。此外, 在线协作学习已被证实能够提高学生学习效果和师范生信息化教学能力, 但与有效失败教学结合的研究较少, 尤其是在巩固阶段协作能否通过有效互动促进学习仍有待验证。协作学习的实际效果也与协

作氛围和分工密切相关，现有研究对此关注不足。因此，本研究旨在将有效失败教学应用于师范生课堂，探究生成阶段不同的生成方式（在线协作 vs. 个人生成）与巩固阶段不同的纠错方式（在线协作 vs. 个人生成）对师范生的影响。

研究问题 1：在有效失败教学中的生成阶段和巩固阶段，与传统的个人生成和纠错方式相比，在线协作生成和纠错如何影响师范生的信息化教学设计方案质量、协作讨论质量、在线自我调节学习水平和学习效果的？

研究问题 2：在有效失败教学中的生成阶段和巩固阶段，与传统的个人生成和纠错方式相比，在线协作生成和纠错的信息化教学设计方案质量表现如何？

3. 研究方法

3.1. 被试

研究在一门教育教师类课程上开展，选取 2024 年春季学期该课程的一个班级的学生作为被试（108 名化学专业大三年级师范生）。被试在大二年级均选修过心理学、教育学和学科教学论等课程，具备基础的教学设计能力。在研究开始前，被试均获得了知情同意。

研究采用随机对照组间设计，被试被随机分配至两组：（1）实验组（ $n=54$ ）：在有效失败教学的两个阶段，与同伴协作完成并修改信息化教学设计（既要帮助同伴生成一份教学设计，又要自己生成一份教学设计）；（2）对照组（ $n=54$ ）：在有效失败教学的两个阶段，独立完成并修改信息化教学设计。

3.2. 实验材料

教学视频为屏幕录制式，主题为《如何制作一份优秀的信息化教学设计》，内容包括五个部分：a) 回顾教学设计概念及一般步骤；b) 信息化教学设计的概念；c) 信息化教学设计的一般步骤并举例；d) 九大类数字化资源；e) 简要总结。采用 PowerPoint 软件制作视频画面，共 21 页（首尾各 1 页，正文内容 19 页），一名女性教师采用 Adobe Audition CS6 音频软件录制声音、Adobe Premiere 视频软件合成画面与音频并导出视频格式为 MP4 格式。教学视频总长为 9 分 22 秒，视频分辨率为 3840×2160 。



图 1 教学视频截图

3.3. 测量工具

3.3.1. 先验知识水平测验

先验知识水平测验内容包括教学设计系统、前端分析、教学内容分析、教学目标分析等，题型为判断题，每题一分，共计 25 道题目。问卷整体内部一致性系数 Cronbach's $\alpha=0.605$ 。

3.3.2. 学习效果测验

学习效果测验包括客观题和主观题，限时 90 分钟答题。客观题有 11 道选择题、9 道判断题，每题 2 分，共 20 题，总计 40 分。内容涉及信息化教学设计含义、步骤、注意事项等。主观题为一道信息化教学设计题，根据给定内容设计一份信息化教学设计方案，共计 60 分，整体试卷总分为 100 分。客观题内部一致性系数 Cronbach's $\alpha=0.609$ 。

3.3.3. 在线自我调节学习水平问卷

改编自 Lucy Barnard 的在线自我调节学习问卷。包含六个维度：目标设定 (goal setting)、环境结构 (environment structuring)、任务策略 (task strategies)、时间管理 (time management)、寻求帮助 (help seeking)、自我评估 (self-evaluation)，共 24 题。采用五点李克特量表，从 1 到 5 依次代表“非常不赞同”到“非常赞同”。问卷整体 Cronbach's α 系数为 0.915。

3.3.4. 在线协作讨论质量问卷

改编自 Robert 的协作讨论质量问卷。包含四个维度：交流 (communication)、讨论质量 (discussion quality)、小组合作 (teamwork)、效率 (efficiency)。五点李克特量表题，共 16 题。从 1 到 5 代表“非常不赞同”到“非常赞同”。问卷整体 Cronbach's α 系数为 0.886。

3.3.5. 小组角色 CSCL 脚本

改编自 Yao Lu 的 CSCL 脚本。采用分析师和评论者两大角色，一人一角，两人一组。分析师对于给定的问题情况，根据现有的知识和经验提出、分析和判断可能的解决方案，并根据评论的反馈不断修改它们。而评论者需要对分析师提出的观点进行评论，表达态度和情感倾向，包括支持或挑战他人的观点。该 CSCL 脚本应用于在线协作组讨论时的角色安排。

3.3.6. 信息化教学设计方案质量编码表

本研究采用 TPACK 评价标准对师范生的信息化教学设计作品质量进行评分。TPACK 评价标准改编自 Chen 等人的研究。TPACK 评价标准包括 7 个子维度，每个维度的分值为 1-5 分，作品质量分数的最大值为 35 分。在编码过程中，由两位编码员独立编码，并选择数据的前 27% ($n=30$) 计算一致性系数。结果表明，两个阶段均具有较高的一致性 (生成阶段: $Kappa=0.851, p<0.001$; 巩固阶段: $Kappa=0.832, p<0.001$)，因此采用两位编码员评分的平均值作为分析的数据。问卷整体 Cronbach's α 系数为 0.958。

3.4. 实验流程

实验分为五个阶段，详见图 2。所有被试在实验开始前签署知情同意书，并填写先验知识前测问卷和在线自我调节学习水平前测问卷，以确保两组初始能力一致。实验组被试由助教介绍协作学习的 CSCL 脚本，完成分组与角色分配。助教向所有被试说明任务要求、平台使用及注意事项。被试需在课前根据教学设计情境完成一份信息化教学设计方案，并提交至小雅平台。对照组单独完成；实验组通过在线协作讨论完成，并将讨论过程记录于石墨文档。教学设计情境为：作为高一化学教师，设计一节关于“化学反应速率”的信息化教学方案，融入信息技术以帮助学生理解概念及影响因素（如温度、浓度、表面积等）。第二周理论课上，教师讲解“如何制作信息化教学设计”，并通过教学视频辅助学习。助教将教学视频上传至小雅平台，供学生随时观看。对照组根据所学内容独立修改教学设计方案；实验组通过在线协作讨论修改方案，并将讨论过程记录于石墨文档。所有被试将修改后的方案提交至小雅平台。第三周实验课上，助教发放在线自我调节学习水平问卷，被试填写后完成学习效果测验，测试结果作为学习效果后测。



图2 实验研究设计流程图

4. 研究结果

在前测中, 由于先验知识水平问卷不符合正态性检验 ($p < 0.05$), 进行 Mann-Whitney U 检验, 结果表明两组在先验知识水平上不存在显著差异 ($z(108) = -1.216, p = 0.224 > 0.05$)。在本研究中, 由于在线自我调节学习水平是通过问卷测量的连续变量, 因此进行独立样本 t 检验, 结果表明, 两组在不存在显著差异 ($t(108) = 0.619, p = 0.538 > 0.05$)。

4.1. 两阶段信息化教学设计方案改进水平

为探究两阶段信息化教学设计方案的变化情况, 对两个阶段的教学设计方案进行了正态性检验。结果显示, 两阶段在 TPACK 维度及总分上的 p 值均小于 0.05, 均不符合正态分布, 故采用配对样本非参数 Wilcoxon 检验。研究结果表明, 修改后的 TPACK 总分显著高于修改前 ($z = -7.784, p < 0.001$)。同时, 在其他七个维度 (CK、PK、TK、TPK、PCK、TCK 及再次考察的 TPACK) 的分数比较中, 修改后的分数亦均显著高于修改前。因此, 修改后的信息化教学设计方案在各方面均表现出显著性的改进水平提升。

4.2. 信息化教学设计方案质量

为探究两种不同学习方式 (在线协作与个人探究) 对信息化教学设计方案在两个阶段 (生成与巩固) 的影响。以学习方式作为自变量, 信息化教学设计方案作为因变量, 采用 Mann-Whitney U 检验进行分析。在生成阶段, 结果显示两组师范生在信息化教学设计方案上存在显著差异 ($z = -3.20, p = 0.001$), 其中在线协作组的 TPACK 总分显著高于个人探究组。进一步分析各维度, 除 TK 维度 ($z = -1.42, p = 0.157$) 外, 其余维度 (PK、CK、TPK、PCK、TCK、TPACK) 均显示在线协作组显著高于个人探究组。在巩固阶段, 关于纠错的信息化教学设计方案同样表现出显著差异 ($z = -2.57, p = 0.010$), 且在线协作组的 TPACK 总分依然显著高于个人探究组。对各维度的深入分析, 研究结果发现, 除 TK ($z = -9.10, p = 0.366$) 和 PK ($z = -1.87, p = 0.061$) 维度外, 其他维度均表现为在线协作组显著高于个人探究组。

综上所述, 无论是在生成阶段还是巩固阶段, 采用在线协作方式学习的师范生所生成的信息化教学设计方案质量均优于采用个人探究方式学习的师范生所生成的信息化教学设计方案。

4.3. 在线协作中的自我调节学习水平

为探究实验前后在线自我调节学习水平的变化, 本研究以在线协作学习为自变量, 在线自我调节学习水平为因变量, 针对其六个维度及总体平均水平, 采用配对样本 t 检验进行分析。统计结果显示, 所有维度及平均水平的配对样本 t 检验 p 值均超过 0.05, 表明实验前后, 整体的在线自我调节学习水平无显著性差异 (详见表 1)。

表 1 在线自我调节学习水平配对样本 t 检验

		N	相关系数 p	
对 1	GS & GS_2	107	0.10	0.285
对 2	ES & ES_2		-0.03	0.741
对 3	TS & TS_2		-0.01	0.243
对 4	TM & TM_2		0.07	0.470
对 5	HS & HS_2		-0.04	0.702
对 6	SE & SE_2		0.05	0.621
对 7	AVER & AVER_2		0.03	0.744

4.4. 学习效果

学习效果即信息化教学技能测试, 测试题包括 20 个客观题和 1 个主观设计题。客观题进行正态性检验, 结果发现 p 值为 0.173, 符合正态性分布, 并满足方差齐性 ($p = 0.093 > 0.05$), 采用独立样本 t 检验进行后续分析。为探究对照组和实验组在学习效果上是否有差异, 以不

同组别为自变量, 信息化教学技能测试成绩为因变量, 进行独立样本 t 检验。结果发现对照组和实验组后测的学习效果之间存在显著性差异($t(106)=-3.521, p=0.001, \text{Cohen's } d=0.465$), 且对照组的学习效果显著低于实验组。

4.5. 协作讨论

对于实验组的协作过程, 通过协作讨论质量问卷记录。描述性统计结果显示, 在协作过程中, 学生在交流方面的满意度较高($M=4.26, SD=0.56$), 而在讨论质量($M=4.07, SD=0.69$)和效率($M=3.87, SD=0.93$)方面的满意度相对较低。这表明, 学生在讨论的深度和任务完成效率上仍有提升空间。

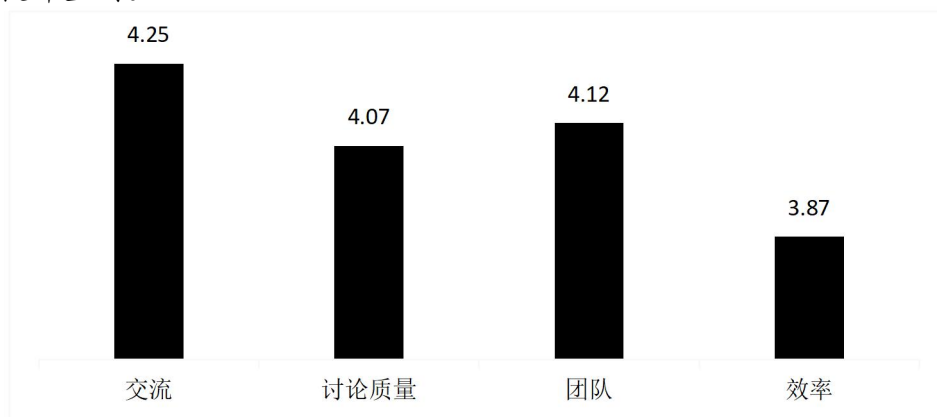


图3 协作过程各维度分数均值图

5. 结论与讨论

本研究旨在探讨有效失败教学模式下, 信息化教学设计方案生成方式(在线协作 vs. 个人生成)及纠错方式(在线协作 vs. 个人探究)在生成与巩固阶段对师范生信息化教学设计能力、在线自我调节学习能力及学习效果的影响。结果显示, 在线协作生成与纠错的教学设计方案质量更优, 且相较于个人生成与纠错, 在线协作生成与纠错能显著提升师范生的信息化教学设计能力和学习效果, 但对在线自我调节水平没有显著影响。

在信息化教学设计能力上, 在线协作组和个人探究组在修改后均有显著提升, 表明有效失败教学结合在线协作学习能提升师范生能力。这可能因为学习者在初次设计时虽不完善, 但已调动先验知识、构建认知框架, 便于后续学习。这与增强师范生 TPACK 能力的先前研究观点一致(刘蕊蕊等人, 2016), 本研究进一步证实有效失败教学在师范生课堂中具有一定应用效果。在线协作组在各阶段均表现出更高水平, 结果支持在线协作对信息化教学设计能力的促进作用。且在线协作组的表现两个阶段均优于个人探究组, 方案质量更高。因此, 在有效失败教学中, 在线协作的生成和纠错方式更利于提升师范生信息化教学设计方案质量, 这与以往研究结论一致(Chen, Tan, & Pi, 2021), 丰富了在线协作学习相关理论。

在线自我调节学习水平方面, 实验前后两组均无显著提升, 实验组也没有显著优势, 可能因为实验周期较短, 无法在短时间内显著性地改变在线自我调节学习水平。在线协作组和个人组在线自我调节学习水平的总体均值均有所提升, 且除 ES(环境结构)外, 各维度均有提升。有研究表明, 10 天内在线自我调节学习水平可以显著提升(Song, 2018), 但本研究中只有 ES 维度下降, 可能是学习者不重视在线学习环境选择, 且在线协作学习多为讨论, 对环境要求不高。关于在线讨论的环境因素, 有研究指出同步或异步对讨论效果影响不大(Vogel, et al., 2022)。

学习效果方面, 在线协作组显著高于个人组, 表明有效失败教学模式下在线协作具有显著优势。可能是在线协作过程中, 学习者通过交流讨论激发了更多知识, 深化了理解。这与以往研究结果一致(Song, 2018), 支持在线协作学习对提高学习效果的有效性。此外, 在线协作学习与学习满意度相关, 学习满意度与学习效果成正相关(胡勇, 2013), 由协作过程可以得出学习者对协作满意度较高, 故协作组的学习效果能得到显著提升。

未来的研究可以延长实验周期,并融入眼动脑电等技术测量生理指标,以深入分析协作过程,从而进一步探究相关因素。

参考文献

- 任友群,闫寒冰 & 李笑樱.(2018).《师范生信息化教学能力标准》解读.电化教育研究(10), 5-14+40.doi:10.13811/j.cnki.eer.2018.10.001.
- 牟艳娜.(2023).解读《教师数字素养》标准——专访标准编制组专家吴砥教授.中小学数字化教学(08), 5-8.
- 刘蕊蕊,杨絮,张海 & 白晶.(2016).“TPACK—自主学习”模型理论框架及实证——如何快速培训教师的教学信念、自我效能和TPACK能力.中国信息技术教育(Z2), 127-130.
- 胡勇.(2013).在线协作学习对学习满意度的影响.中国电化教育(06), 48-56.
- 蔡旻君,郭婉璐 & 娄颜超.(2020).在线学习过程中如何实施有效的反馈——基于自我调节学习理论的在线反馈探讨.电化教育研究(10), 82-88.doi:10.13811/j.cnki.eer.2020.10.011.
- Brand, C., Hartmann, C., Loibl, K., & Rummel, N. (2023). Do students learn more from failing alone or in groups? Insights into the effects of collaborative versus individual problem solving in productive failure. *Instructional Science*, 51(6), 953-976.
- Chai, C. S., Deng, F., Tsai, P. S., Koh, J. H. L., & Tsai, C. C. (2015). Assessing multidimensional students' perceptions of twenty-first-century learning practices. *Asia Pacific Education Review*, 16, 389-398.
- Chen, W., Tan, J. S., & Pi, Z. (2021). The spiral model of collaborative knowledge improvement: An exploratory study of a networked collaborative classroom. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 16(1), 7-35.
- Dillenbourg, P. (2000). A multidisciplinary viewpoint on European research on collaborative learning. *Kognitionswissenschaft*, 9(1), 50-53.
- Hod, Y., Basil-Shachar, J., & Sagy, O. (2018). The role of productive social failure in fostering creative collaboration: A grounded study exploring a classroom learning community. *Thinking Skills and Creativity*, 30, 145-159.
- Holmes, N. G., Day, J., Park, A. H., Bonn, D. A., & Roll, I. (2014). Making the failure more productive: scaffolding the invention process to improve inquiry behaviors and outcomes in invention activities. *Instructional Science*, 42, 523-538.
- Kapur, M., & Bielczyk, K. (2011). Classroom-based experiments in productive failure. In *Proceedings of the annual meeting of the cognitive science society* (Vol. 33, No. 33).
- Kapur, M., & Bielaczyc, K. (2012). Designing for productive failure. *Journal of the Learning Sciences*, 21(1), 45-83.
- Mazziotti, C., Rummel, N., Deiglmayr, A., & Loibl, K. (2019). Probing boundary conditions of productive failure and analyzing the role of young students' collaboration. *NPJ science of learning*, 4(1), 2.
- Meijer, H., Hoekstra, R., Brouwer, J., & Strijbos, J. W. (2020). Unfolding collaborative learning assessment literacy: A reflection on current assessment methods in higher education. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 45(8), 1222-1240.
- Ng, P. M., Chan, J. K., & Lit, K. K. (2022). Student learning performance in online collaborative learning. *Education and Information Technologies*, 27(6), 8129-8145.
- Rosen, Y., Wolf, I., & Stoeffler, K. (2020). Fostering collaborative problem solving skills in science: The Animalia project. *Computers in Human Behavior*, 104, 105922.

- Sinha, T., & Kapur, M. (2021). Robust effects of the efficacy of explicit failure-driven scaffolding in problem-solving prior to instruction: A replication and extension. *Learning and Instruction*, 75, 101488.
- Song, Y., & Kapur, M. (2017). How to flip the classroom-" productive failure or traditional flipped classroom" pedagogical design?. *Educational Technology & Society*, 20(1), 292-305.
- Song, Y. (2018). Improving primary students' collaborative problem solving competency in project-based science learning with productive failure instructional design in a seamless learning environment. *Educational Technology Research and Development*, 66, 979-1008.
- Vogel, F., Kollar, I., Fischer, F., Reiss, K., & Ufer, S. (2022). Adaptable scaffolding of mathematical argumentation skills: The role of self-regulation when scaffolded with CSCL scripts and heuristic worked examples. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 17(1), 39-64.
- Weinberger, A., & Fischer, F. (2006). A framework to analyze argumentative knowledge construction in computer-supported collaborative learning. *Computers & education*, 46(1), 71-95.
- Zheng, L., Long, M., Niu, J., & Zhong, L. (2023). An automated group learning engagement analysis and feedback approach to promoting collaborative knowledge building, group performance, and socially shared regulation in CSCL. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 18(1), 101-133.