

Universität Augsburg  
Fakultät für Angewandte Informatik  
Institut für Geographie  
Lehrstuhl für Didaktik der Geographie



**Fehlvorstellungen zum Thema Ozon vermeiden –  
eine Design-based Research-Studie unter besonderer Berücksichtigung der  
methodischen Großform des Experiments und motivationaler Perspektiven**

Dissertation

Zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

vorgelegt an der  
Fakultät für Angewandte Informatik  
der Universität Augsburg

von  
Isabel Hörmann  
aus Augsburg

Erstgutachterin: Prof. Dr. Ulrike Ohl, Universität Augsburg  
Zweitgutachterin: Prof. Dr. Ingrid Hemmer, Katholische Universität Eichstätt  
Drittgutachter: Prof. Dr. Thomas Schneider, Universität Augsburg

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Oktober 2018

Meiner Familie gewidmet

Verbunden mit Dank an all diejenigen,  
die an dem Dissertationsprojekt auf vielfältigste Weise  
unterstützend, beratend, zielstrebig und effektiv mitwirkend involviert waren.

# Inhaltsverzeichnis

<b>A. Problemstellung, Vorgehensweise und Zielsetzung .....</b>	<b>13</b>
<b>B. Die theoretischen Hintergründe des Dissertationsprojekts .....</b>	<b>17</b>
<b>1. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als theoretischer Rahmen der Studie .....</b>	<b>17</b>
1.1 Grundlagen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion .....	17
1.2 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion .....	18
<b>2. Forschungsstand zu den Themen Ozon und Strahlungsarten.....</b>	<b>20</b>
2.1 Analyse von Lerner-/Schülervorstellungen.....	20
2.2 Analyse von wissenschaftlichen Vorstellungen.....	24
2.3 Analyse des bayerischen Lehrplans zu den Themen Ozon und Strahlungsarten .....	28
<b>3. Das kognitiv-motivationale Prozessmodell des Lernens nach RHEINBERG &amp; VOLLMEYER .....</b>	<b>29</b>
3.1 Grundidee des kognitiv-motivationalen Prozessmodells des Lernens.....	29
3.2 Merkmale des kognitiv-motivationalen Prozessmodells des Lernens.....	30
<b>4. ‚Design-based Research‘ als Forschungsdesign der Studie .....</b>	<b>33</b>
4.1 Grundidee und Merkmale des Design-based Research Forschungsansatzes.....	33
4.2 Vorgehensweise im Entwicklungszyklus des Design-based Research Ansatzes .....	34
4.3 Outputs von Forschungsvorhaben nach der Vorgehensweise des Design-based Research.....	35
<b>5. Zielsetzung der Studie und forschungsleitende Fragen .....</b>	<b>36</b>
<b>C. Iterative theoriegeleitete Entwicklung, Erprobung und Evaluation der Unterrichtskonzeption nach der Vorgehensweise des Design-based Research Ansatzes .....</b>	<b>37</b>
<b>I. Entwurfsphase.....</b>	<b>38</b>
<b>1. problem analysis .....</b>	<b>38</b>
<b>2. Erhebungsinstrumente .....</b>	<b>43</b>
<b>2.1 Messinstrument zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz.....</b>	<b>43</b>
2.1.1 Erstellung des Messinstruments zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz.....	43
2.1.2 Aufbau des Tests.....	46
2.1.3 Expertenrating .....	50
2.1.3.1 Wissenschaftliche Beratung und Pre-Test.....	50
2.1.3.2 Beratung durch Unterrichtspraktiker und Pre-Test.....	52
2.1.3.3 Beratung durch Schüler und Pre-Test.....	55
2.1.4 Der naturwissenschaftliche Arbeitstechnikkompetenz- und Fachwissenstest im Hinblick auf dessen Güte .....	58
2.1.4.1 Wahl der Studienteilnehmer und Bearbeitung des Erhebungsinstruments .....	58
2.1.4.2 Auswertung der Ergebnisse .....	59

2.1.4.2.1 Vergabe von Werte- und Variablenlabels.....	59
2.1.4.2.2 Datensatzkonvertierung .....	60
2.1.4.2.3 Zuordnung zu den Skalen .....	61
2.1.4.2.4 Reliabilität .....	62
2.1.4.2.5 Itemschwierigkeit .....	62
2.1.4.2.6 Trennschärfe .....	63
<b>2.2 Messinstrumente zur motivationalen Begleitforschung .....</b>	<b>66</b>
2.2.1 Fragebogen zur Aktuellen Motivation (FAM).....	67
2.2.2 Flow-Kurz-Skala (FKS).....	68
2.2.3 Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes.....	69
<b>3. Das theoriebasierte Design der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung.....</b>	<b>70</b>
<b>3.1 Fragestellungen zur Wirkung der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung.....</b>	<b>70</b>
<b>3.2 Die Wahl der methodischen Großform des Experiments – Impulse aus Forschung und Praxis.....</b>	<b>72</b>
<b>3.3 Anforderungen an experimentgestützte Lehr-Lern-Umgebungen aus didaktisch-methodischer Perspektive.....</b>	<b>76</b>
3.3.1 Kriterium Kompetenzorientierung.....	77
3.3.2 Kriterium Kompetenzen.....	78
3.3.3 Kriterium Implementierung .....	78
<b>3.4 Theoriegeleitete Entwicklung der Experimente und Materialien auf Basis von identifizierten Denkfiguren.....</b>	<b>79</b>
3.4.1 Experiment 1 – Untersuchung der Energie und der Wärmewirkung von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung ( <i>siehe S. 236/246-247/258-259;272-273</i> ).....	79
3.4.2 Experiment 2 – UV-Strahlung: Wirkung auf organische Körper und Schutzkonzepte ( <i>siehe Anhang S. 227/248-249/260-261;274-275</i> ).....	82
3.4.3 Experiment 3 – Absorptionsverhalten ausgewählter Materialien bei UV-Strahlung ( <i>siehe Anhang S. 239/250/262-263;276-279</i> ).....	86
3.4.4 Experiment 4 – Ozonherstellung unter dem Aspekt der UV-absorbierenden Wirkung und Temperaturveränderung ( <i>siehe Anhang S. 240/251-253/268-271;280-282</i> ).....	90
3.4.5 Experiment 5 – Simulation des Ozonlochs ( <i>siehe Anhang S. 243-244/254-256/268271; 283-284</i> ).....	93
<b>3.5 Expertenrating .....</b>	<b>97</b>
<b>II. Umsetzungsphase 1.....</b>	<b>100</b>
<b>1. Interventionsphase 1 – design procedure .....</b>	<b>100</b>
1.1 Erhebungen vor der experimentellen Intervention .....	100
1.2 Ablauf und Erhebungen am Tag der experimentellen Intervention.....	101
1.3 Erhebungen nach der experimentellen Intervention .....	101
<b>III. Analysephase 1 .....</b>	<b>102</b>
<b>1. Auswertung und Analyse der erhobenen Daten aus Interventionsphase 1.....</b>	<b>102</b>
1.1 Naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissenstest.....	102
1.2 Motivationale Begleitforschung .....	110

1.3 Gruppendiskussion mit den an der Intervention aktiv beteiligten Schülern .....	114
1.4 Beobachtungen durch kooperierende Lehrer .....	115
1.5 Beobachtungen durch die an der Intervention passiv beteiligten Schülern .....	116
1.6 Beobachtungen der Studienleiterin .....	116
<b>IV. Re-Designphase 1 .....</b>	<b>118</b>
<b>1. Kriterien zum Re-Design.....</b>	<b>118</b>
<b>2. Re-Design der Interventionsphase 1 auf Basis der erhobenen Daten im Hinblick .....</b>	<b>129</b>
2.1 auf die Experimente.....	129
2.2 auf die Materialien .....	130
<b>3. Design solutions 1.....</b>	<b>132</b>
<b>V. Umsetzungsphase 2 .....</b>	<b>133</b>
<b>1. Interventionsphase 2 – design procedure .....</b>	<b>133</b>
1.1 Erhebungen vor der experimentellen Intervention .....	133
1.2 Ablauf und Erhebungen am Tag der experimentellen Intervention.....	133
1.3 Erhebungen nach der experimentellen Intervention .....	134
<b>VI. Analysephase 2.....</b>	<b>135</b>
<b>1. Auswertung und Analyse der erhobenen Daten aus Interventionsphase 2.....</b>	<b>135</b>
1.1 Naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissenstest.....	135
1.2 Motivationale Begleitforschung .....	143
1.3 Gruppendiskussion mit den an der Intervention aktiv beteiligten Schülern .....	148
1.4 Beobachtungen durch kooperierende Lehrer .....	150
1.5 Beobachtungen durch die an der Intervention passiv beteiligten Schüler .....	150
1.6 Beobachtungen der Studienleiterin .....	150
<b>VII. Re-Designphase 2.....</b>	<b>152</b>
<b>1. Re-Design der Interventionsphase 2 auf Basis der erhobenen Daten im Hinblick .....</b>	<b>152</b>
1.1 auf die Experimente.....	152
1.2 auf die Materialien .....	154
<b>2. Design solutions 2.....</b>	<b>155</b>
<b>VIII. Umsetzungsphase 3 .....</b>	<b>156</b>
<b>1. Interventionsphase 3 – design procedure .....</b>	<b>156</b>
1.1 Erhebungen vor der experimentellen Intervention .....	156
1.2 Ablauf und Erhebungen am Tag der experimentellen Intervention.....	156
1.3 Erhebungen nach der experimentellen Intervention .....	156
<b>IX. Analysephase 3.....</b>	<b>157</b>
<b>1. Auswertung und Analyse der erhobenen Daten aus Interventionsphase 3.....</b>	<b>157</b>
1.1 Naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissenstest.....	157
1.2 Motivationale Begleitforschung .....	164
1.3 Gruppendiskussion mit den an der Intervention aktiv beteiligten Schülern .....	169
1.4 Beobachtungen durch kooperierende Lehrer .....	170

1.5 Beobachtungen durch die an der Intervention passiv beteiligten Schüler .....	171
1.6 Beobachtungen der Studienleiterin .....	171
<b>X. Interpretationsphase.....</b>	<b>173</b>
<b>1. Auswertung und Analyse der erhobenen Daten aus den Interventionsphasen 1 bis 3 nach ausgewählten Forschungsfragen .....</b>	<b>173</b>
1.1 Beschreibung der Studienteilnehmer .....	173
1.2 Auswertung des Fragebogens zur Aktuellen Motivation (FAM) .....	173
1.3 Auswertung der Flow-Kurz-Skala (FKS) .....	177
1.4 Auswertung des Fragebogens zum motivationalen Zustand .....	179
1.5 Steigerung der Leistungen nach Skalen im Post-Test durch das Ableisten der experiment- gestützten Konzeption .....	181
1.6 Zusammenhang Schulnoten und Ergebnisse im Leistungstest .....	182
1.7 Unterschiede zwischen Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmern .....	182
1.8 Zusammenhang zwischen der motivationalen Begleitforschung zu den Messzeitpunkten vor und während der experimentellen Intervention .....	183
1.9 Vergleich des Punktescore im Pre-Test der Interventionsgruppe (n=54) mit dem der weiteren Leistungstestteilnehmer (n=292) .....	184
<b>2. Output der Studie – Implikationen für die Unterrichtspraxis, fachdidaktische Theoriebildung und Forschungspraxis .....</b>	<b>185</b>
2.1 Implikationen für die Unterrichtspraxis .....	185
2.2 Beiträge zur fachdidaktischen Theoriebildung .....	187
2.3 Implikationen für die Forschungspraxis .....	198
<b>D. Schlussbetrachtung .....</b>	<b>203</b>
<b>E. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>210</b>
<b>F. Anhang.....</b>	<b>219</b>
1. Anschreiben.....	219
2. Testinstrument NAW und Fachwissen .....	220
3. Fragebogen zur Aktuellen Motivation (FAM).....	234
4. Fragebogen zur Flow-Kurz-Skala und zum motivationalen Zustand .....	235
5. Materialien zur Intervention 1 .....	236
6. Materialien zur Intervention 2 .....	246
7. Materialien zur Intervention 3 .....	258
8. Photographische Dokumentation der Intervention .....	273
9. Protokollationsbogen .....	286
<b>G. Erklärung.....</b>	<b>289</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stummer Impuls (eigene Zeichnung) .....	13
Abbildung 2: Studienarchitektur (eigener Entwurf).....	16
Abbildung 3: Das Strukturmomentmodell der Berliner Schule (DUIT 2010 S.14).....	17
Abbildung 4: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (eigener Entwurf nach KATTMANN, DUIT, GROPENGLIEßER & KOMOREK 1997).....	18
Abbildung 5: Das kognitiv-motivationale Prozessmodell des Lernens nach Falko Rheinberg und Regina Vollmeyer (eigene Darstellung nach RHEINBERG, VOLLMAYER & ROLLETT 2000 S. 504 F.).....	30
Abbildung 6: Vorgehensweise eines DBR-Forschungsvorhaben unter besonderer Berücksichtigung der einzelnen Phasen (aus: FEULNER, OHL & HÖRMANN 2015 S.212).....	35
Abbildung 7: Entscheidungsbereiche nach Edelson (eigener Entwurf auf Basis von EDELSON 2002 S.108-109 sowie FEULNER, OHL & HÖRMANN 2015 S.215) .....	36
Abbildung 8: Kategorien der Theoriebildung und Output (eigener Entwurf, zitiert nach FEULNER, OHL & HÖRMANN 2015 S.215-216).....	36
Abbildung 9: Architektur der Entwurfsphase - problem analysis (eigener Entwurf).....	39
Abbildung 10: Akteure des Expertenratings und deren Funktion (eigener Entwurf).....	50
Abbildung 11: Punktescore (n=292, MW = .6718, Std.-Abw. = 0,10041) .....	62
Abbildung 12: Punktescore (n=292, MW = .7267, Std.-Abw. = 0,814) .....	65
Abbildung 13: Messinstrumente zur motivationalen Begleitforschung und deren Einsatzzeitpunkte ...	66
Abbildung 14: Fragebogen zur Aktuellen Motivation (FAM) - siehe Anhang S. 233.....	67
Abbildung 15: Fragebogen zur Flow-Kurz-Skala und zur Erfassung des motivationalen Zustands - siehe Anhang S. 234 .....	69
Abbildung 16: Architektur zur Entwicklung und zum Design der situierten Lehr-Lern-Umgebung .....	71
Abbildung 17: Behaltwert der vermittelten Information in [%] in Abhängigkeit von der ausgeführten Tätigkeit (eigener Entwurf nach SCHMIDTKE 1990 S.13).....	75
Abbildung 18: Potentiale des Experiments im Geographieunterricht (eigener Entwurf nach MÖNTER & HOF 2012, aus: HÖRMANN 2015 S. 62) .....	75
Abbildung 19: Bausteine kompetenzorientierten Unterrichts (eigener Entwurf nach MEHREN & UPHUES 2010).....	77
Abbildung 20: Architektur der Umsetzungsphase der Intervention I - design procedure.....	100
Abbildung 21: Punktescore Pre-Post (absolut und graphisch) - Interventionsgruppe 1 .....	103
Abbildung 22: Ergebnisse der Subskalen im Pre-Post-Vergleich von IVG 1 .....	109
Abbildung 23: Kriterien der Re-Designphase einschließlich Kontrollelemente .....	118
Abbildung 24: Generierung von design solutions aus der Analysephase der Intervention 1.....	132
Abbildung 25: Architektur der Umsetzungsphase der Intervention 2 - design procedure.....	133
Abbildung 26: Punktescore Pre-Post (absolut und graphisch) – Interventionsgruppe 2 .....	136
Abbildung 27: Ergebnisse der Subskalen im Pre-Post-Vergleich von IVG 2 .....	142
Abbildung 28: FAM – Mittelwerte der IVG 1 im Vergleich zu IVG 2 - graphisch.....	144
Abbildung 29: FKS – Mittelwerte der IVG 1 im Vergleich zu IVG 2 - graphisch.....	146
Abbildung 30: FzmZ – Mittelwerte der IVG 1 im Vergleich zu IVG 2 - graphisch .....	148

---

Abbildung 31: Generierung von design solutions aus der Analysephase der Intervention 2.....	155
Abbildung 32: Architektur der Umsetzungsphase der Intervention 3 – design procedure.....	156
Abbildung 33: Punktescore Pre-Post (absolut und graphisch) – Interventionsgruppe 3 .....	158
Abbildung 34: Ergebnisse der Subskalen im Pre-Post-Vergleich von IVG 3 .....	163
Abbildung 35: FAM-Mittelwerte der IVG 2 im Vergleich zu IVG 3 - graphisch.....	165
Abbildung 36: FKS - Mittelwerte der IVG 2 im Vergleich zur IVG 3 - graphisch .....	167
Abbildung 37: FzmZ - Mittelwerte der IVG 2 im Vergleich zur IVG 3 - graphisch .....	169
Abbildung 38: Mittelwerte des FAM über n=54 nach Items gegliedert – absolut (gerundet) und graphisch .....	174
Abbildung 39: Entwicklung der Mittelwerte des FAM von Interventionsgruppe 1 zu 3 – graphische Darstellung .....	175
Abbildung 40: Mittelwerte der FKS über n=54 nach Items gegliedert – absolut (gerundet) und graphisch .....	177
Abbildung 41: Entwicklung der Mittelwerte der FKS von Interventionsgruppe 1 zu 3 - graphisch.....	178
Abbildung 42: Mittelwerte des Fragebogens zur Erfassung des motivationalen Zustands über n=54 nach Items gegliedert – absolut (gerundet) und graphisch .....	179
Abbildung 43: Mittelwerte der Items zur Erfassung des motivationalen Zustands von Interventionsgruppe 1 zu 3 - graphisch .....	180

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über den Untersuchungsgegenstand, die empirisch erfassten Schülervorstellungen zur Ozonthematik und UV-Strahlung (eigener Entwurf).....	22
Tabelle 2: Übersicht Eigenschaften der UV-/VIS-/IR-Strahlung (zusammengefasst nach MEFFERT & MEFFERT 2000 S. 98-104).....	24
Tabelle 3: Wissenschaftliche Vorstellungen zum Ozonmolekül hinsichtlich Entdeckung, Bildung, Vernichtung sowie Ozonlochthematik (eigene Zusammenstellung) .....	28
Tabelle 4: Merkmale des DBR Forschungsansatzes, aus: FEULNER, OHL, HÖRMANN 2015 S.211 .....	34
Tabelle 5: Auswertung mit Wertelabel Ja und Nein .....	59
Tabelle 6: Auswertung von Aufgaben mit offenem Antwortcharakter .....	60
Tabelle 7: Items mit den Antwortmöglichkeiten ja, nein, weiß nicht.....	60
Tabelle 8: Zuordnung der Items (Skala 1/2/3; Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung) .....	61
Tabelle 9: Reliabilität der Skalen .....	62
Tabelle 10: Deskriptive Statistik der Punktescore .....	63
Tabelle 11: Trennschärfe einzelner ausgesuchter Items .....	63
Tabelle 12: Reliabilität der Items (ohne Subskalen).....	63
Tabelle 13: Trennschärfe einzelner ausgesuchter Items, Skala Hypothese .....	64
Tabelle 14: Trennschärfe einzelner ausgesuchter Items, Skala Schlussfolgerung .....	64
Tabelle 15: Deskriptive Statistik des Punktescore (ohne Subskalen).....	64
Tabelle 16: Punktescore Pre-Post (absolut und in Prozent) – Interventionsgruppe 1 .....	103
Tabelle 17: Test zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen – Ergebnisse im Pre-Post-Vergleich der Interventionsgruppe 1 (k: korrekte Antwort, f: falsche Antwort, o: weiß nicht, D: Durchschnitt).....	107
Tabelle 18: Skalen Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung Pre-Post – Interventionsgruppe 1 ....	110
Tabelle 19: FAM - Interventionsgruppe 1 .....	111
Tabelle 20: FAM nach Bereichen - Interventionsgruppe 1 .....	111
Tabelle 21: Flow-Kurz-Skala - Interventionsgruppe 1 .....	112
Tabelle 22: Flow-Kurz-Skala nach Bereichen - Interventionsgruppe 1 .....	113
Tabelle 23: Erfassung des motivationalen Zustandes - Interventionsgruppe 1 .....	113
Tabelle 24: Punktescore Pre-Post (absolut und in Prozent) – Interventionsgruppe 2 .....	136
Tabelle 25: Ergebnisse im Pre-Post-Vergleich: Test zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen – Interventionsgruppe 2 (k: korrekte Antwort, f: falsche Antwort, o: weiß nicht, D: Durchschnitt) .....	140
Tabelle 26: Skalen Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung Pre-Post – Interventionsgruppe 2 ....	142
Tabelle 27: FAM – Interventionsgruppe 2 .....	143
Tabelle 28: FAM nach Bereichen – Interventionsgruppe 2 .....	145
Tabelle 29: Flow-Kurz-Skala – Interventionsgruppe 2 .....	146
Tabelle 30: Flow-Kurz-Skala nach Bereichen - Interventionsgruppe 2 .....	147
Tabelle 31: Erfassung des motivationalen Zustands - Interventionsgruppe 2 .....	148
Tabelle 32: Punktescore Pre-Post (absolut und in Prozent) – Interventionsgruppe 3 .....	157

---

Tabelle 33: Ergebnisse im Pre-Post-Vergleich – Test zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen – Interventionsgruppe 3 (k: korrekt, f: falsch, o: weiß nicht, D: Durchschnitt).....	162
Tabelle 34: Skalen Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung Pre-Post - Interventionsgruppe 3.....	163
Tabelle 35: FAM - Interventionsgruppe 3.....	164
Tabelle 36: FAM nach Bereichen - Interventionsgruppe 3.....	166
Tabelle 37: Flow-Kurz-Skala - Interventionsgruppe 3.....	167
Tabelle 38: Flow-Kurz-Skala nach Bereichen - Interventionsgruppe 3.....	168
Tabelle 39: Erfassung des motivationalen Zustands - Interventionsgruppe 3.....	169
Tabelle 40: Reliabilität der Skalen - FAM.....	173
Tabelle 41: Deskriptive Statistik - FAM.....	174
Tabelle 42: Entwicklung der Mittelwerte des FAM von Interventionsgruppe 1 zu 3 (+ Verbesserung/Steigerung zum vorangegangenen Wert, - Verschlechterung zum vorangegangenen Wert, o identischer Wert) – absolut.....	175
Tabelle 43: Reliabilität der Skalen - FKS.....	177
Tabelle 44: Deskriptive Statistik - FKS.....	177
Tabelle 45: Entwicklung der Mittelwerte der FKS von Interventionsgruppe 1 zu 3 (+ Verbesserung/Steigerung zum vorangegangenen Wert, - Verschlechterung zum vorangegangenen Wert, o identischer Wert) - absolut.....	178
Tabelle 46: Entwicklung der Mittelwerte des Fragebogens zur Erfassung des motivationalen Zustands von Interventionsgruppe 1 zu 3 (+ Verbesserung/Steigerung zum vorangegangenen Wert, - Verschlechterung zum vorangegangenen Wert, o identischer Wert) - absolut.....	180

---

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
bzw.	beziehungsweise
DBR	Design-Based Research
FAM	Fragebogen zur Erfassung der Aktuellen Motivation
FKS	Flow-Kurz-Skala
FzmZ	Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes
gemäß	gemäß
i.d.R.	in der Regel
insb.	insbesondere
insg.	insgesamt
IVG	Interventionsgruppe
Kap.	Kapitel
Ki./Jgdl.	Kinder und / oder Jugendliche
MW	Mittelwert
PISA	Programme for International Student Assessment ( <i>Programm zur internationalen Schülerbewertung</i> )
s.	siehe
S.	Seite
s.o.	siehe oben
u.a.	unter anderem
Tab.	Tabelle
usw.	und so weiter
u.v.a.m.	und viele[s] andere mehr
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

## A. Problemstellung, Vorgehensweise und Zielsetzung

Im Lehrplan Geographie der 10. Jahrgangsstufe am bayerischen Gymnasium (ISB BAYERN 2017) wird im Rahmen der Unterrichtseinheit ‚Globale Herausforderungen‘ gegen Ende des Schuljahres der natürliche und anthropogene Treibhauseffekt behandelt.

Die Autorin der Studie, die seit knapp zehn Jahren als Gymnasiallehrerin tätig ist, beobachtet dabei die sich nahezu jährlich wiederholende identische Unterrichtssituation:

Als Einstieg in die Unterrichtsstunde zum natürlichen Treibhauseffekt dient eine einfache und übersichtliche Abbildung (siehe Abb. 1), die mit Hilfe der Overlay-Technik kleinschrittig den Schülern den Prozess des Phänomens und die daran beteiligten Himmelskörper, Strahlungsarten sowie Gase vermitteln soll:

*Projektion der nachfolgenden Abbildung zu Beginn der Stunde (stummer Impuls):*

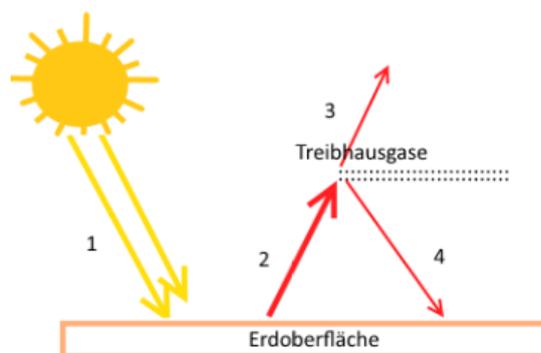


Abbildung 1: Stummer Impuls (eigene Zeichnung)

Nach dem vollständigen Aufdecken der Abbildung erfolgt durch die Gymnasiasten eine Interpretation, die nun exemplarisch durch ein Unterrichtsprotokoll festgehalten wurde:

*Schüler 1: „Die Sonne strahlt auf die Erde. Dabei kommen viele Strahlen auf der Erde an und erwärmen sie. Gerade weil das Ozonloch so groß ist, gehen so viele Sonnenstrahlen durch und gehen somit auf die Erdoberfläche. Ja, darum spricht man vom Klimawandel, weil es so immer wärmer wird.“*

*Schüler 2: „Ja, aber ein Teil der Strahlung bleibt auf der Erde, ungefähr so die Hälfte und der Rest geht wieder von der Erde weg. Die Strahlen, die zurück ins Weltall gehen, müssen durch die Ozon- und Treibhausgasschicht durch. Deswegen ist es dort so warm und die Wärme wird auf die Erde zurückgeschickt.“*

*Schüler 3: Wenn das Ozonloch kleiner wird und die Treibhausgase mehr, dann verlässt weniger Wärme oder auch UV-Strahlung die Erdatmosphäre und es wird bei uns auf der Erde immer heißer. Deswegen schmelzen auch die Polkappen und die Gletscher so schnell ab.“*

*Schüler 4: „Ich glaube, Sie wollen uns mit der Abbildung den Klimawandel und das Ozonloch zeigen.“*

Aus den Antworten wird deutlich, welche Vorstellungen Schüler beim Beschreiben eines einfachen Modells zum natürlichen Treibhauseffekt haben. Ferner lassen sich Querbezüge zum anthropogenen Treibhauseffekt als auch zur Ozonthematik erkennen.

Zahlreiche Studien (z.B. PARCHMANN 1996, NIEBERT 2010, SCHULER 2005 & 2011, REINFRIED 2005 & 2010) bestätigen in ihren Arbeiten, dass Schülerinnen und Schüler die Themen ‚Treibhauseffekt‘ und ‚Ozon(-loch)‘ fälschlicherweise oftmals als ein Phänomen verstehen. Überdies identifizierten die Autoren eine fehlerhafte Verwendung von Fachbegriffen, die sich darin zeigt, dass diese häufig verwechselt werden. Auch können physikalische Grundlagen im Hinblick auf die beteiligten Strahlungsarten und deren Eigenschaften nicht eindeutig zugeordnet werden.

Die oben genannten Studien dienen der Klärung der Ausgangssituation und sind im deutschsprachigen Raum maßgebliche empirische Untersuchungen zu beobachteten Schülervorstellungen.

Ein empirisch erprobter Ansatz gemäß dem Element der Didaktischen Strukturierung (d.h. eine Entwicklung von Leitlinien und Lernangeboten einschließlich Evaluation) des Modells der Didaktischen Rekonstruktion (KATTMANN, DUIT, GROPENIEBER & KOMOREK 1997), nämlich wie man diese Lerneransichten nun tatsächlich in der Unterrichtspraxis optimiert oder möglichst in korrekte Schülervorstellungen umwandeln könnte, steht jedoch nach wie vor aus.

Das Anliegen der vorliegenden Arbeit ist zum einen in der Praxis die Fehlvorstellungen von Schülern zu korrigieren und bestehende Konzepte zu optimieren, zum anderen ist es der Anspruch der Arbeit, das beschriebene Fehlen eines Lösungsansatzes in der Wissenschaft zu beheben.

Aufgrund des starken Praxis- und Wissenschaftsbezuges des Ausgangspunktes der Studie, bietet es sich an, (neue) Modelle und Herangehensweisen zu erproben, an denen möglichst viele Akteure aus den unterschiedlichsten Ebenen (Lernende und Lehrende aus Wissenschaft und Schule) beteiligt sind.

Studien nach dem Konzept des Design-based Research Forschungsansatzes sind als „nutzenorientierte Grundlagenforschung“ (WILHELM & HOPF 2014 S. 32) zu verstehen und streben explizit – bedingt durch die enge Zusammenarbeit von Wissenschaftler und Unterrichtspraktiker - Beiträge für die fachdidaktische Theorienbildung als auch für die Unterrichtspraxis an.

So möchte die vorliegende Studie bezogen auf die ‚Erkenntnisdimension‘ einen Beitrag zu konzeptuellem und inhaltsbezogenem Wissen der Schülerinnen und Schüler sowie zur Förderung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns leisten.

In Bezug auf die Dimension ‚Eignung der Konzeption für die Unterrichtspraxis‘ sollen Handlungsempfehlungen abgeleitet werden und weitere inhaltsbezogene Neuentwicklungen unter Berücksichtigung kognitiver und motivationaler Perspektiven der Lernenden erfolgen.

Mit Hilfe eines eigens für die Studie entwickelten Erhebungsinstruments erforscht das Promotionsprojekt die experimentelle Kompetenz, das Fachwissen sowie die naturwissenschaftliche Grundbildung der Schülerinnen und Schüler mit Blick auf die oben genannten Themen. Um die

Aussagekraft des neu gestalteten Leistungstestes zu gewährleisten, bearbeiteten diesen 292 Schülerinnen und Schüler ausgewählter bayerischer Gymnasien. In der Arbeit werden die Item-Konstruktion, die Ergebnisse der Pilotierungs-, Validierungs- und weiteren Interventionsphasen vorgestellt und in Beziehung gesetzt.

Parallel hierzu werden eine theoriegeleitete, experimentgestützte Lehr-Lern-Umgebung zu den Themen ‚Ozonherstellung‘, ‚Funktion von Ozon‘, ‚Ozonzerstörung – das Ozonloch‘ sowie zu ‚Eigenschaften unterschiedlicher Strahlungsbereiche‘ geschaffen und inhaltsbezogenes Lehr-Lern-Material entwickelt, welche u.a. der nachhaltigen Förderung von naturwissenschaftlichen Arbeitstechniken Rechnung tragen sollen.

Um die Effektivität und die Wirkungen der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung auf Wissen sowie methodisch-naturwissenschaftliche Fähigkeiten und Fertigkeiten zu ermitteln, bearbeiten die Partizipatoren der Studie (bayerische Gymnasiasten der 10. Jahrgangsstufe) sowohl vor als auch nach dem Einsatz der experimentellen Konzeption diesen Leistungstest.

Darüber hinaus wird eine Begleitforschung auf Basis des kognitiv-motivationalen Prozessmodells des Lernens (VOLLMEYER & RHEINBERG 1999 & 2006) zu den motivationalen Wirkungen der Experimentierkultur durchgeführt. Hierzu kommt unmittelbar vor Ableistung der Experimente der Fragebogen zur aktuellen Motivation (RHEINBERG, VOLLMEYER & BURNS 2001) zum Einsatz. Während der Bearbeitung der einzelnen Versuche füllen die Lernenden die Flow-Kurz-Skala (RHEINBERG, VOLLMEYER & ENGESER 2005) sowie den Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes (VOLLMEYER & RHEINBERG 1998) aus. Somit dient die Begleitforschung zur Erfassung von motivationalen Perspektiven unter den Lernenden der Beurteilung der entwickelten Lehr-Lern-Umgebung im Hinblick auf deren lernpsychologische Wirksamkeit.

Ein Merkmal des Design-based Research Forschungsansatzes ist neben der engen, symbiotischen Zusammenarbeit zwischen Forscher und Praktiker die empirische Begleitung durch quantitative und/oder qualitative Methoden (FEULNER, OHL & HÖRMANN 2015 S. 211-212). So werden weitere Informationen zur Eignung und Wirksamkeit der Konzeption mittels Gruppendiskussionen mit den Lernenden und den Gymnasiallehrern in Form von zusammenfassenden Protokollen gewonnen.

Insgesamt wurden die Experimente der Lehr-Lern-Umgebung und die dazugehörigen Begleitmaterialien auf Basis der quantitativen und qualitativen Erhebungen binnen drei Interventionsdurchgängen zweimal überarbeitet und optimiert.

Die Architektur der vorliegenden Studie nach dem Design-based Research Forschungsansatz unter Berücksichtigung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion und des kognitiv-motivationalen Prozessmodells präsentiert nachstehende Abbildung:

## Architektur der Studie

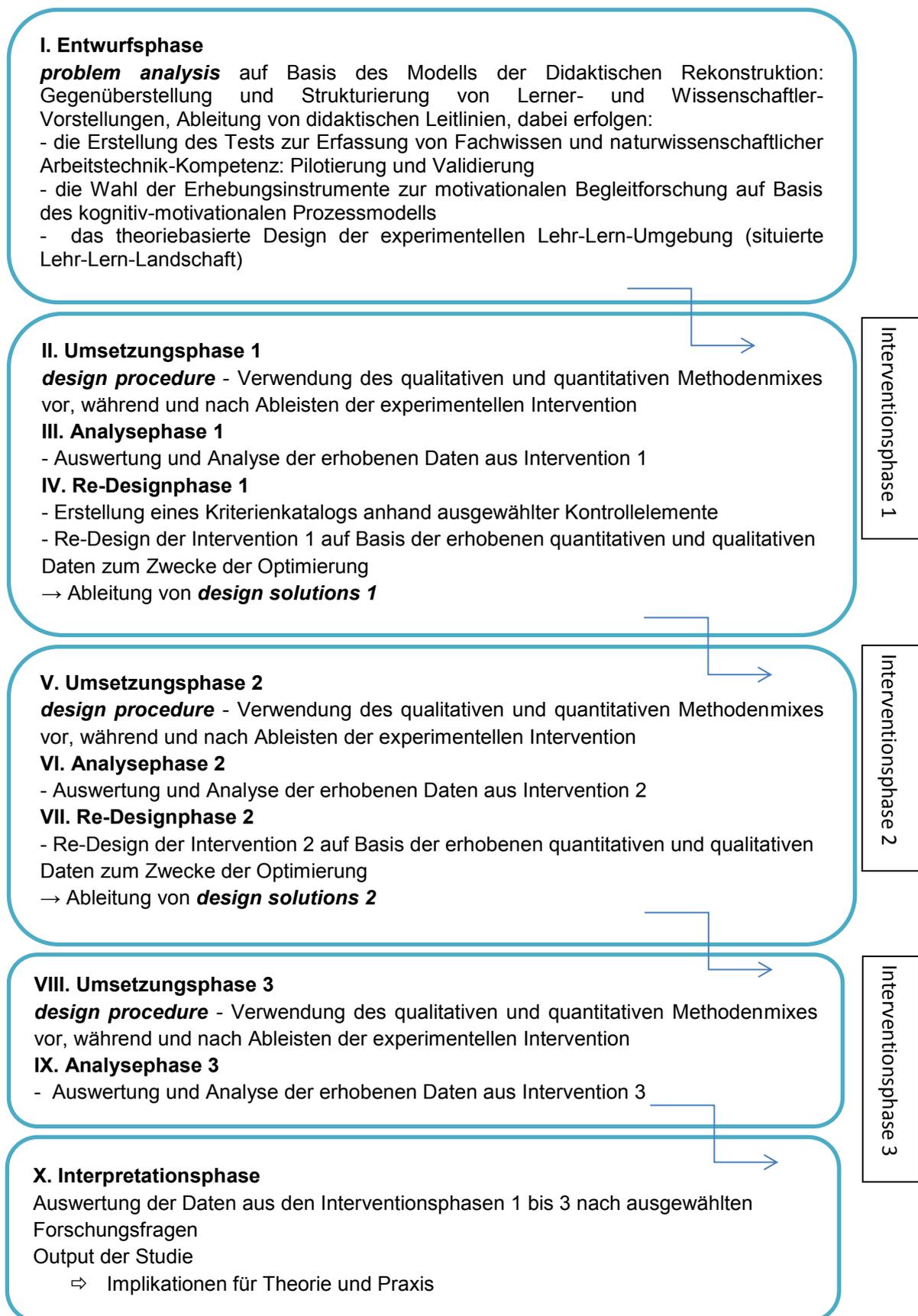


Abbildung 2: Studienarchitektur (eigener Entwurf)

## B. Die theoretischen Hintergründe des Dissertationsprojekts

### 1. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als theoretischer Rahmen der Studie

#### 1.1 Grundlagen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion setzt die umfassende Kenntnis des Strukturmomentmodells nach Paul Heimann, Gunter Otto und Wolfgang Schulz (HEIMANN, OTTO & SCHULZ 1965) sowie des Konzepts der Didaktischen Analyse nach Wolfgang Klafki (KLAFKI 1964) voraus. Neben den wichtigsten Grundlagen der lehr-lern-theoretischen Didaktik der Berliner Schule und der bildungstheoretischen Didaktik Klafkis werden die Schülerperspektiven – dazu zählen Vorstellungen, Interessen und Einstellungen unter den Lernenden – in das Modell der Didaktischen Rekonstruktion integriert (KATTMANN, DUIT, GROPENGEIßER & KOMOREK 1997).

In der lehr-lern-theoretischen Didaktik bestimmen folgende Variablen und Voraussetzungen die Planung, Gestaltung und Reflexion des Unterrichts (s. Abb. 3):

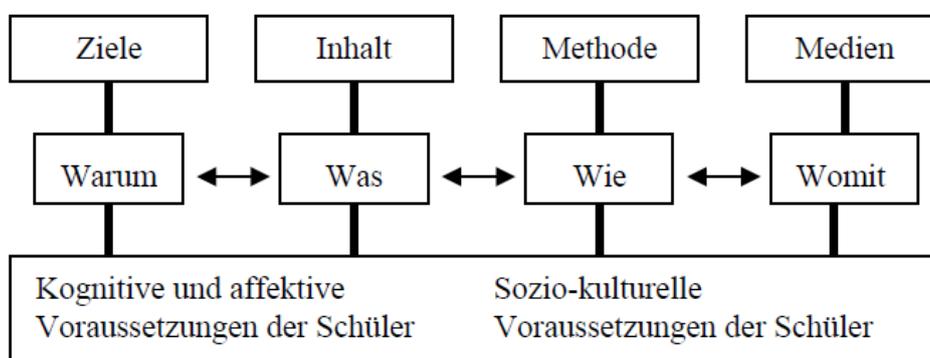


Abbildung 3: Das Strukturmomentmodell der Berliner Schule (Duit 2010 S.14)

Zunächst sollen die Fragen nach den zu vermittelnden *Inhalten* (was wird vermittelt) und den anvisierten *Zielen* (warum wird vermittelt) des Unterrichts geklärt werden. Dabei wird gleichzeitig die methodische Vorgehensweise in Form von unterschiedlichen *Sozial- und Aktionsformen* (wie wird vermittelt) und die *mediale Gestaltung* der Unterrichtssituation (womit wird vermittelt) berücksichtigt. Ein wesentlicher Beitrag des Berliner Modells ist die Beachtung der sozio-kulturellen und affektiv-kognitiven Voraussetzungen unter den Lernenden. Sowohl die Planung als auch der Vollzug des Unterrichtsgeschehens sind ein sehr komplexes Moment, dessen genauer Analyse vielfältigstes Wissen über unterschiedlichste Strukturmomente zu Grunde liegt (Duit 2010 S.14F.).

Deutlich vielschichtiger fällt die Wahl nach den zu vermittelnden Inhalten in der bildungstheoretischen Didaktik nach WOLFGANG KLAFKI (1964) aus:

Oberstes Ziel der Didaktik nach Klafki ist die *kategoriale Bildung* des Lernenden. Letztere kann bei der Auswahl der zu vermittelnden Inhalte gewährleistet werden, wenn die fünf didaktischen Grundfragen von Wolfgang Klafki im Hinblick auf Exemplarität, Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung, Struktur und Zugänglichkeit des Bildungsinhaltes erfüllt sind. Klafki differenziert den Bildungsbegriff in kategoriale und formale Bildung: Unter der kategorialen Bildung versteht man die Gesamtheit aus der materiellen

Bildung, d.h. das Aneignen von Lerninhalten, wohingegen die formale Bildung die seelischen und geistigen Fähigkeiten ausformt. Erkennbar ist auch bei näherer Betrachtung der fünf Grundfragen, dass Klafki methodische Aspekte ausklammert. Wolfgang Klafki zielt in seinem Modell auf eine doppelseitige Erschließung: Die der Welt und der Wirklichkeit durch den Menschen als aktives Wesen, beim Bildungsvorgang in der Schule (vgl. PETERSEN 2000 S. 47-61).

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion greift die beiden erläuterten didaktischen Modelle auf und liefert einen weiterentwickelten theoretischen und methodischen Rahmen für die Planung, Durchführung und Evaluation von unterrichtlichen Lehr-Lern-Arrangements. Dabei gilt zu beachten, dass die fachwissenschaftlichen Inhalte und Themen bestmöglich dem Lernenden zu vermitteln sind. Die Vorstellungen auf Seiten der Wissenschaftler als auch der Lernenden bilden das Fundament der optimalen Weitergabe von fachlichen Inhalten. Dabei beschränkt sich das Modell der Didaktischen Rekonstruktion nicht auf Beschreibungen der Lernervorstellungen vor und nach Absolvierung der Intervention, sondern geht explizit der Frage nach, aus welchem Grunde die präskriptiven Erkenntnisse zu einem bestimmten Inhalt durch die geplante Unterrichtskonzeption einer Änderung unterliegen. Somit bietet das Modell der Didaktischen Rekonstruktion einen Forschungsrahmen, der die Ursachen von Veränderungswissen beschreiben und erklären kann (NIEBERT & GROPENGEIER 2013 S.511F.).

## 1.2 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion basiert auf drei Säulen, die nicht isoliert zueinanderstehen, sondern fortwährend wechselwirken und sich gegenseitig paritätisch bedingen: Wissenschaftlervorstellungen – Lernervorstellungen – Didaktische Strukturierung

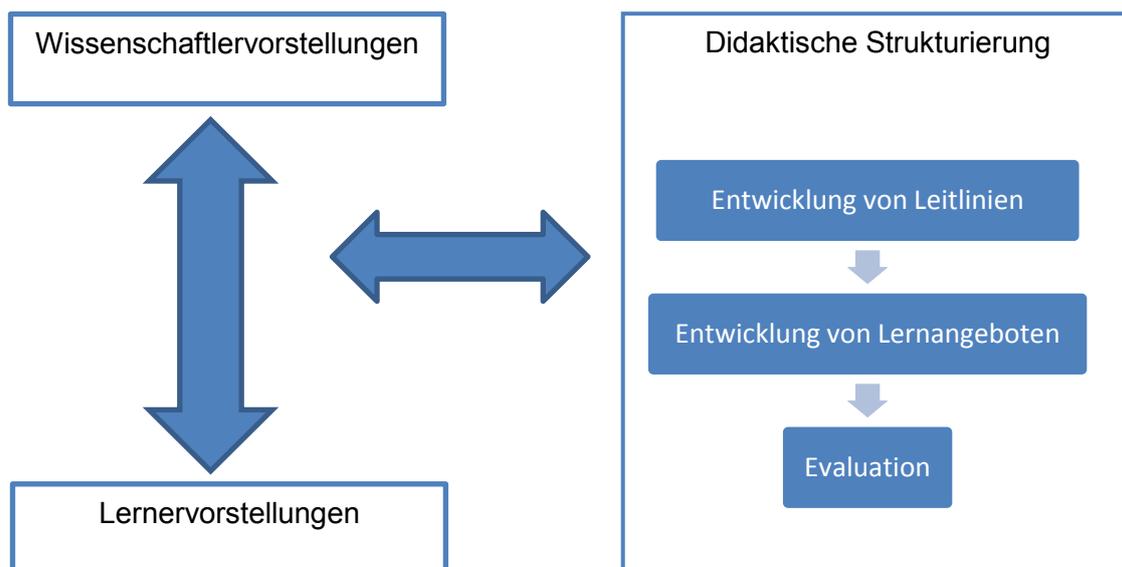


Abbildung 4: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (eigener Entwurf nach KATTMANN, DUIT, GROPENGEIER & KOMOREK 1997)

Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion verläuft der gesamte Forschungsprozess rekursiv, d.h. es werden zunächst Wissenschaftler- und Lernervorstellungen zu einem relevanten Inhalt erhoben und analysiert sowie die wichtigsten Ergebnisse beider Gruppen in der Didaktischen Strukturierung gegenübergestellt. Die empirisch identifizierten Ansichten beider Expertenteams (die der Lehrenden und Lernenden) sind zueinander gleichbedeutend sowie fortwährend wechselwirkend und bieten z.B. bei der Entwicklung von Leitlinien und Lernangeboten einen umfangreicheren Blickwinkel auf die zu behandelnde Thematik (KATTMANN, DUIT, GROPEGIEßER & KOMOREK 1997 S. 3-18; DUIT, GROPEGIEßER & KATTMANN 2005 S.1-9; VAN DIJK & KATTMANN 2007 S.12-15).

Ziel der Analyse von Wissenschaftlervorstellungen ist die fachliche Klärung eines bestimmten Inhalts. Dabei erstreckt sich die fachliche Klärung auf die vertiefte Auseinandersetzung mit wissenschaftlichen Theorien, Aussagen, Modellen und sonstigen Erkenntnissen aus bewährten Lehrwerken und auch auf die Konfrontation ausgewählter Experten mit Aussagen und Inhalten wissenschaftlicher Abhandlungen auf Basis der qualitativen Inhaltsanalyse (DUIT, GROPEGIEßER & KATTMANN 2005 S.1-9).

Ebenfalls kommt der Analyse von Lernerperspektiven eine wichtige Bedeutung als Lernvoraussetzung zu: Einerseits besitzen bereits vor der unterrichtlichen Abhandlung fachwissenschaftlich korrekte, individuelle Ansichten und alltagswissenschaftliche Vorstellungen das Potential eines Anknüpfungspunktes für den zu behandelnden Aspekt. Andererseits können derartige, festverinnerlichte subjektive Anschauungen den Lernprozess behindern, falls diese nicht die fachwissenschaftliche Richtigkeit aufweisen. Somit vermag der Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion zum einen Fehlvorstellungen auf Seiten der Lernenden erkennen lassen, zum anderen kann bereits vorhandenes, fachlich korrektes und subjektives Wissen erweitert werden. Die Erhebung von Lernerperspektiven erfolgt zumeist mittels qualitativer Forschungsmethoden. Ähnlich dem Modell der lehr-lern-theoretischen Didaktik können Fragestellungen zu persönlichen Motiven und Einstellungen (z.B. Motivation und Interesse) unter den Schülern Berücksichtigung finden (KATTMANN, DUIT, GROPEGIEßER & KOMOREK 1997 S. 3-18; DUIT, GROPEGIEßER & KATTMANN 2005 S.1-9; VAN DIJK & KATTMANN 2007 S.12-15 & S.107-114).

Die Didaktische Strukturierung umfasst zunächst die Analyse und Gegenüberstellung der Vorstellungen von Wissenschaftlern und Lernenden mit dem Ziel, theoriebasierte Leitlinien zur Vermittlung des zu behandelnden Inhalts zu entwickeln, welche in einem passenden Lernangebot konkretisiert werden. Dabei werden die identischen und abweichenden Vorstellungen von beiden Expertengruppen zueinander in Beziehung gesetzt und auftretende, tangierende Sichtweisen als Ausgangspunkt für die Gestaltung von Lernangeboten herausgearbeitet (NIEBERT 2010).

Somit werden zu diesem Zeitpunkt des Forschungsprozesses Entscheidungen über den Inhalt, die Zielsetzung und die methodische Vorgehensweise getroffen, welche sich in der Entwicklung des Lernangebots niederschlagen. Insbesondere kommt den fehlerhaften Vorstellungen und Denkfiguren an dieser Stelle eine bedeutende Rolle zu, da diese somit nicht nur bekannt sind, sondern auch als Optimierungs- bzw. Vermeidungsgegenstand in die Konzeption des Entwicklungsprozesses eines Lernangebots einfließen (NIEBERT & GROPEGIEßER 2013 S.511-532 & 2014 S.277-303).

So zielt die empirisch begleitete Gestaltung, Erprobung und anschließende Evaluation des didaktisch rekonstruierten Lernangebots auf die Untersuchung der Wirksamkeit der Lernumgebung hinsichtlich der Vermittlung fachlicher Inhalte ab. Dementsprechend können empirisch erprobte Angebote für eine weitere Eignungsprüfung abgewandelt und verbessert werden, um somit weitere Erkenntnisse über die Veränderung von Vorstellungen zu erhalten. In der gesamten Phase der Didaktischen Strukturierung besteht eine starke wechselseitige Beziehung zwischen den Perspektiven, Ansichten und Vorstellungen der Lerner- und Lehrendengruppen (NIEBERT 2010).

## **2. Forschungsstand zu den Themen Ozon und Strahlungsarten**

Im vorangegangenen Abschnitt lag der Fokus auf der Klärung der Schüler- und Wissenschaftlervorstellungen zu bestimmten Inhalten im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion.

Die vorliegende Studie erforscht nicht wiederholt Lerner- und Lehrendenperspektiven zur Verwechslung der Ozon- und Treibhauseffektthematik, sondern widmet sich ausschließlich auf Basis bisheriger Erkenntnisse zu Schülervorstellungen dem Baustein der Didaktischen Strukturierung (vgl. Leitfragen nach KATTMANN 2007 S. 96-97), um die Wirkungen der experimentgestützten Konzeption hinsichtlich der fachwissenschaftlichen und fachmethodischen Kompetenzen der Schüler zu den Themen ‚Ozon‘ sowie ‚Strahlungsarten und deren Eigenschaften‘ zu optimieren.

Die Literatursichtung ergibt eine Fokussierung auf die Erhebung von Schüler- und Lehrendenvorstellungen zu bestimmten Themen. Dabei sind weder eine Wertung der erhobenen Vorstellungen bezüglich einer fachlichen Korrektheit erkennbar, noch ergeben sich konkrete Maßnahmen und empirisch begleitete Vorschläge, diese in der Wissenschafts- und Unterrichtspraxis zu optimieren.

Genau an diesem Punkt liegt die Besonderheit der vorliegenden Studie, da ein Versuch der Didaktischen Strukturierung erstmals unternommen wird:

Gestützt auf die Ergebnisse empirischer Studien werden ein Leistungstest sowie eine Experimentierumgebung mit dazugehörigen Begleitmaterialien entwickelt als auch mehrmals evaluiert.

### **2.1 Analyse von Lerner-/Schülervorstellungen**

Auf Grundlage von zahlreichen empirischen Studien ergeben sich Lernervorstellungen zu den Grundbegriffen, Ursachen und Auswirkungen zu Ozon und (UV-) Strahlung, die in der nachfolgenden Tabelle (nach Fragestellung gegliedert) aufgelistet sind.

Die kursiv unterlegten Schülervorstellungen finden in der hier ausgearbeiteten Studie eine besondere Beachtung, da diese in der experimentellen Konzeption als gegebener Hypothesenrahmen überprüft werden.

Zwar finden sich in der Literatur noch weitere Untersuchungsgegenstände, jedoch beschränkt sich die Studie auf die am beständigsten in wissenschaftlichen Arbeiten abgedruckten Vorstellungen und die in der langjährigen Unterrichtstätigkeit der Studienleiterin besonders häufig wahrgenommenen Vorstellungen der Lernenden.

Untersuchungsgegenstand (Bezug der Frage auf...)	Schülervorstellung	Empirische Studie (Autoren, Zeitpunkt der Erhebung)
<b>Art der Strahlung, die am Treibhauseffekt beteiligt ist</b>	Beim Treibhauseffekt prallt UV-Strahlung von der Erdoberfläche ab	Koulaidis & Christidou 1999; Reinfried et al. 2008
	<i>Erhöhung der eingehenden UV-Strahlung oder allgemein der Sonnenstrahlung auf die Erde durch die Zerstörung der Ozonschicht</i>	Boyes & Stanisstreet 1997; Koulaidis & Christidou 1999; Reinfried et al. 2008; Schuler 2005 & 2010
	<i>Erhöhte UV-Strahlung durch Abbau der Ozonschicht verursacht globale Erwärmung</i>	Koulaidis & Christidou 1999; Boyes & Stanisstreet 1997; Schuler 2005 & 2010
	<i>Zusammenhang UV-Strahlung und Klimawandel</i>	Rye, Rubba & Wiesenmayer 1997; Hansen 2010
	UV-Strahlung gelangt auf die Erde, IR-Strahlung wird in den Weltraum abgestrahlt	Bardar et al. 2006; Reinfried 2010
<b>Unterscheidung der Strahlungsarten und deren Eigenschaften</b>	<i>UV-Strahlung ist eine starke und <u>sehr heiße</u>, von der Sonne kommende Strahlung</i>	Boyes & Stanisstreet 1997; Koulaidis & Christidou 1999
	<i>keine Unterscheidung zwischen UV-Strahlung, Wärmestrahlen und höherer Lufttemperatur</i>	Boyes & Stanisstreet 1997; Boyes & Stanisstreet 1998; Fisher 1998
	<i>UV-Strahlung ist sichtbares Licht und besteht aus starken (energiereichen) Strahlen</i>	Österlind 2005; Libarkin et al. 2011
	<i>UV-Strahlung ist violett-farben, kann auch eine Farbe wie rot, blau und lila haben</i>	Libarkin et al. 2011
	<i>UV-Strahlung ist unsichtbares Licht</i>	Libarkin et al. 2011
	<i>UV-Strahlung ist eine Form der elektro-magnetischen Strahlung → Konzeptuelles Verständnis von UV-Strahlung</i>	Libarkin et al. 2011 Abney & Scalettar 1998
<b>Herkunft der UV-Strahlung</b>	UV-Strahlung kommt von der Sonne. Die Sonne ist die einzige Quelle von UV-Strahlung <i>UV-Strahlung kommt durch ein Loch in der Ozonschicht auf die Erde</i>	Libarkin et al. 2011
<b>Arten von Gasen, die am Treibhauseffekt beteiligt sind</b>	Ohne Berücksichtigung von „bodennahem Ozon“ oder „Gas von Dünger“ als Treibhausgas	Boyes et al. 1993; Boyes & Stanisstreet 1993
<b>Erklärung des Treibhauseffekts unter irrtümlicher Einbeziehung der Ozonschicht</b>	<i>Unter dem Treibhauseffekt versteht man, wenn Sonnenstrahlen von der Ozonschicht abgefangen werden</i>	Boyes & Stanisstreet 1997; Koulaidis & Christidou 1999; Pruneau et al. 2003
	Zum Treibhauseffekt kommt es, wenn Sonnenstrahlen von der Erdoberfläche reflektiert und	Koulaidis & Christidou 1999; Schuler 2005 & 2010; Niebert 2010; Reinfried 2010

	von der Ozonschicht eingefangen werden <i>Sonnenstrahlen werden vom Ozon „gefangen“</i>	Boyes & Stanisstreet 1997; Pruneau et al. 2003
<b>Das Ozonloch verursacht Folgendes: ...</b>	<i>Der Abbau der Ozonschicht verursacht die globale Erwärmung</i>	Boyes & Stanisstreet 1993 & 1998; Boyes et al. 1993; Fisher 1998; Gowda et al. 1997; Pruneau et al. 2001; Boyes & Stanisstreet 1994 & 1997; Rye et al. 1997; Schuler 2010; Reinfried et al. 2008
	<i>Kühlere Luft entweicht von der Erde durch das Ozonloch, zunehmende globale Durchschnittstemperatur Das Ozonloch ermöglicht mehr Sonnenenergie, die die Erde erreicht, was zur globalen Erwärmung führt</i>	Boyes & Stanisstreet 1997; Andersson & Wallin 2000; Boyes et al. 1999; Boyes & Stanisstreet 1994; Boyes & Stanisstreet 1997; Koulaidis & Christidou 1999; Österlind 2005; Pruneau et al. 2003; Rye et al. 1997; Schuler 2005 & 2010
	<i>Zusammenhang: dünnere Ozonschicht bedeutet mehr UV-Strahlung auf der Erde und somit ein höheres Hautkrebsrisiko</i>	Boyes & Stanisstreet 1998; Leighton & Bisanz 2003; Boyes, Stanisstreet & Papantoniou 1999
<b>Erklärung des Schwunds der Ozonschicht und dessen Auswirkungen</b>	<i>Die Treibhausgase verursachen eine Verkleinerung (eher Ausdünnung) der Ozonschicht Der Treibhauseffekt verursacht einen Anstieg von Luftschadstoffen und die Schwächung der Ozonschicht „Ozonabbau“ als eine Hauptursache der globalen Erderwärmung und des Klimawandels. Eine allgemein gehaltene Idee war, dass das Ozonloch es ermöglicht, dass mehr Sonnenenergie die Erde erreicht, wodurch die globale Erwärmung und der Klimawandel zustande kommen</i>	Boyes & Stanisstreet 1994; Rye et al. 1997; Boyes et al. 1999; Boyes & Stanisstreet 1997  Österlind 2005; Pruneau et al. 2003; Andersson & Wallin 2000; Koulaidis & Christidou 1999; Boyes et al. 1999; Boyes & Stanisstreet 1997; Rye et al. 1997; Boyes & Stanisstreet 1994; Reinfried et al. 2008; Schuler 2005 & 2010; Niebert 2010
	<i>die globale Erwärmung bewirkt das Ozonloch; Folgen der globalen Erwärmung sind Hautkrebs und Ausdünnung der Ozonschicht</i>	Libarkin et al. 2011
	<i>Menschen tragen Sonnenschutzmittel an sonnigen Tagen wegen der UV-Strahlung auf die Haut auf</i>	Libarkin et al. 2011
	<i>Zusammenhang von UV-Strahlung mit Sonnenbrand und Hautkrebs, mögliche Schutzmaßnahmen</i>	Libarkin et al. 2011; Suping 2004; Leighton & Bisanz, 2003

Tabelle 1: Überblick über den Untersuchungsgegenstand, die empirisch erfassten Schülervorstellungen zur Ozonthematik und UV-Strahlung (eigener Entwurf)

Zusammenfassend ergibt ein sorgfältiges Literaturstudium folgende Schlussfolgerungen:

Schüler besitzen zwar gute Kenntnisse über das sichtbare Licht (z.B. Modell der Lichtausbreitung; Themen der Optik wie Reflexion oder Brechung; Wissen über Lichteigenschaften), jedoch dominieren in den Medien eher die Begriffe Infrarot (IR)- und Ultraviolett (UV)-Strahlung. Kenntnisse über die UV-Strahlung und deren Merkmale sind nötig, um Themen wie die Ozonproblematik und deren Abgrenzung zum Treibhauseffekt zu verstehen (vgl. SCHULER 2005 & 2010; REINFRIED 2008 & 2010; NIEBERT 2010; LIBARKIN ET AL. 2011; RYE, RUBBA & WIESENMAYER 1997; HANSEN 2010).

Einen korrekten und logischen Zusammenhang von einer dünner werdenden Ozonschicht und somit einem auf die Erde gelangendem höheren Anteil an UV-Strahlung und dem damit verbundenen höheren Hautkrebsrisiko erkannte nur etwa jeder 10. Studienteilnehmer (BOYES & STANISSTREET 1998; LEIGHTON & BISANZ 2003; BOYES, STANISSTREET & PAPANTONIOU 1999). SUPING (2004) nahm in seiner Studie die Frage nach Schutzmöglichkeiten vor UV-Strahlung auf, die weitestgehend von den Schülerinnen und Schülern beantwortet werden konnte. Auch die Studienteilnehmer von Libarkin (LIBARKIN ET AL. 2011) sowie LEIGHTON & BISANZ (2003) erkannten ähnliche Handlungsstrategien bei drohendem Sonnenbrand.

Ferner wurden die Ergebnisse der einschlägigen Studien von Problemen hinsichtlich des konzeptuellen Verständnisses von UV-Strahlung dominiert: Gut 80% der Studienteilnehmer in Libarkins Untersuchung wissen, dass UV-Strahlung von der Sonne stammt. Gleichzeitig wissen nur 9,5% aller an der Studie beteiligten Schülerinnen und Schüler, dass es sich bei UV-Strahlung um unsichtbares Licht handelt. Weniger als ein Drittel der Befragten stellen überhaupt eine Verbindung zwischen den Begriffen UV-Strahlung, Sonnenbrand und Hautkrebs her (LIBARKIN ET AL. 2011).

Weitere Erkenntnisse sind:

Die Wahrnehmung von UV-Strahlung als eine Form der elektro-magnetischen Strahlung bzw. deren klare Abgrenzung vom IR und dem sichtbaren Strahlungsbereich entfällt – mit einer Ausnahme – bei allen Beschreibungen durch die an der Untersuchung beteiligten Schülerinnen und Schüler. Häufig lassen die Schülerantworten erkennen, dass ihrer Meinung nach UV-Strahlung sehr heiß und energiereich von der Sonne durch das Loch in der Ozonschicht auf die Erde komme und letztere dabei auch erwärmen würde (SCHULER 2010; REINFRIED 2010; NIEBERT 2010; LIBARKIN ET AL. 2011). Zwar lässt diese Vermutung schlussfolgern, dass der Ursprung der UV-Strahlung mit der Sonne in Verbindung gesetzt wird und diese Strahlungsart energiereich sein muss, dennoch findet eine Vermischung des Treibhauseffekts und der Ozonthematik statt. So wird eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur auf das verstärkte Eindringen von kurzwelliger UV-Strahlung auf die Erde zurückgeführt. Argumentativ entstehen bei der Differenzierung der Begriffe UV- und IR-Strahlung weitere Erklärungsnotwendigkeiten. Weder langwellige, von der Erde in den Weltraum reflektierte Strahlung, noch die globale Erwärmung sind für die Ausdünnung der Ozonschicht verantwortlich.

Fragestellungen nach den genauen Ursachen für die Entstehung des Ozonlochs oder dessen Auswirkungen wurden in keiner der oben genannten (und auch sonstigen bekannten) Studien aufgegriffen.

## 2.2 Analyse von wissenschaftlichen Vorstellungen

Auf Grundlage eines Beitrags von MEFFERT & MEFFERT (2000) gibt die nachfolgende Tabelle Auskunft über die wissenschaftliche Vorstellung zur UV-, VIS und IR-Strahlung:

	UV-Strahlung	Sichtbare Strahlung	IR-Strahlung
<b>Entdeckung</b>	Nachweis der Schwärzung von Silbersalzen durch Johann Wilhelm Ritter (1801)	Dispersion von Licht	Untersuchung von Sonnenlicht an einem Prisma durch Friedrich Wilhelm Herschel (1800): Temperaturanstieg in Bereichen nach dem roten Farbanteil
<b>Vorkommen</b>	Sonne, Entladungen wie Blitze, Lichtbogenschweißen, UV-Strahlungsquellen wie z.B. UV-Laser, UV-Dioden, Quecksilberdampflampen	Sonne	Sonne, IR-Lampen/ Wärmestrahler
<b>Energie des Photons</b>	Einteilung nach Strahlungsbereichen UV-A (315-380 nm), UV-B (280-315 nm), UV-C (200-280 nm) mit Energien zwischen 3,3eV und 124 eV  Auf der Erde spielt UV-C-Strahlung keine Rolle, da diese vollständig von der Atmosphäre absorbiert wird	Energie zwischen 1,5 eV (rotes Licht) und 3,3 eV (blaues Licht)  Wellenlänge zwischen 380nm und 750nm	Energie weniger als 1,5 eV  Wellenlänge zwischen 750nm und 1000µm
<b>Wirkungsmechanismen in organischen Körpern</b>	große Quantenenergie der UV-Photonen führt zu Modifikation von Biomolekülen und ist Auslöser für photochemische Reaktionen  Mensch besitzt kein Warnsystem vor UV-Strahlung, daher Schädigungen an Augen und Haut als auch tieferliegende Strukturen Folgen von Sonnenbrand ( $\lambda=297\text{nm}$ ) sind Hautalterung und Faltenbildung sowie Pigmentierung  UV-Strahlung ist ein Karzinogen, welches DNA-Photoschäden hervorrufen kann	Photosensibilisator und molekularer Sauerstoff in Kombination mit Licht kann chemische Bindungen aufspalten, somit:  1. Photodynamische Reaktion wegen Lichtabsorption durch den Photosensibilisator  2. Absorptions- und Emissionsvorgänge  3. Biomoleküle Schädigung oder destruktive Radikalkettenreaktion	Bedingt durch die geringe Quantenenergie: Erwärmung, aber kein Auslösen von photochemischen Reaktionen  große Eindringtiefe bei Wasser bewirkt Erwärmung und Erweiterung der Blutgefäße
<b>Schadwirkungen an an-/organischen Körpern</b>	steigende Anzahl an Hautkrebspatienten (häufigste Krebsursache)  Ausbleichen von Materialien/Stoffen  Zerstörung von Vegetation	Vorzeitige Hautalterung, grauer Star (Linsentrübung)	Hitzeschmerzen, Verbrennungen und Entzündungen, Hitzepigmentierung

Tabelle 2: Übersicht Eigenschaften der UV-/VIS-/IR-Strahlung (zusammengefasst nach MEFFERT & MEFFERT 2000 S. 98-104)

Die wissenschaftlichen Vorstellungen zum stratosphärischen Ozon ergeben zusammengefasst:

Untersuchungsgegenstand (Bezug der Frage auf...)	Wissenschaftliche Vorstellung	Empirische Studie (Autoren, Veröffentlichung)
<b>Entdeckung bzw. erstmaliger Nachweis von Ozon</b>	<p>Christian Friedrich Schönbein entdeckte 1839 bei Elektrolyse-Versuchen mit verdünnter Schwefelsäure die Modifikation von Sauerstoff zu Ozon (O<sub>3</sub>).</p> <p>Ozongeruch ähnelt dem Geruch der Luft nach Gewitterereignissen, woraufhin Werner von Siemens mittels ‚stiller elektrischer Entladung‘ Ozon herstellt: Durch Anlegen von Hochspannung an die Elektroden einer mit Luft angereicherten Glasküvette bildet sich Ozon.</p>	Rubin 2001; Müller 2009; Solomon 1999
<b>Vorkommen von Ozon</b>	<p>Ozonvorkommen in der Troposphäre bezeichnet man als bodennahes Ozon.</p> <p>Die größte Anreicherung des Ozonmoleküls wird Ozonschicht genannt. Diese befindet sich in einer Höhe zwischen 15 und 50km über der Erdoberfläche in der Stratosphäre und ist im Mittel 3,1mm (ca. 300 DU) mächtig. Ein signifikantes Merkmal für das Vorhandensein des Ozonmoleküls in diesem Höhenintervall ist der sprunghafte Temperaturanstieg, welcher auf die dortigen Ozonbildungs- und Abbauprozesse zurückzuführen sind.</p>	Müller 2009; Roan 1989; Rubin 2001; Solomon 1999; Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014
<b>Bildung von Ozon</b>	<p>Die Bildung von <i>bodennahem Ozon</i> (Sommersmog) tritt ein, wenn ausreichend Sonnenstrahlung sowie Stickstoffoxide bzw. flüchtige organische Verbindungen wie Kohlenwasserstoffe vorhanden sind. In Gebieten mit hoher Stickstoffdioxid – Belastung kann hinreichend energetisch hohe Strahlung zu dessen Aufspaltung in Stickstoffmonoxid und Ozon führen. Das dabei entstandene bodennahe Ozon kann Atemwege, Schleimhäute (Hals, Nase, Auge) von Mensch und Tier</p>	Landesamt für Umweltschutz 2014 & 2015

schädigen sowie durch dessen toxische Wirkung Pflanzen schaden.

In der *Stratosphäre* herrschen stabile Bedingungen vor. Für die dortige Ozonbildung müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein: 1. genügend energiereiche UV-Strahlung 2. genügend Sauerstoffmoleküle. „Zuerst spaltet energiereiche UV-C-Strahlung den molekularen Sauerstoff in zwei Sauerstoff-Radikale ( $O_2 \rightarrow O\cdot + O\cdot$ ). Dabei wird die UV-C-Strahlung vollständig absorbiert. Die Sauerstoff-Radikale sind äußerst reaktionsfreudig und verbinden sich mit anderen Sauerstoff-Molekülen zu Ozon ( $O\cdot + O_2 \rightarrow O_3$ )“ (LfU, 2014, S.3)

Landesamt für Umweltschutz 2014

#### **Funktion des Ozonmoleküls in der Stratosphäre, Auswirkungen des Ozonlochs**

Ozonmoleküle absorbieren die schädliche UV-C-Strahlung vollständig und größte Anteile der schädlichen UV-A und UV-B-Strahlung. Je mächtiger die Ozonschicht, desto weniger UV-Strahlung gelangt an die Erdoberfläche. Sobald die Ozonkonzentration in der Stratosphäre weniger als 200 DU beträgt, spricht man von einem Ozonloch. Je geringer die Ozonkonzentration, desto mehr schädliche UV-Strahlung gelangt auf die Erde, die u.a. Hautkrebs verursachen kann.

Müller 2009; Roan 1989; Rubin 2001; Solomon 1999; Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014

#### **Abbau von stratosphärischem Ozon**

„Der Ozonabbau erfolgt durch die energieärmere UV-B-Strahlung, die Ozon in Sauerstoff-Radikale und molekularen Sauerstoff spaltet ( $O_3 \rightarrow O\cdot + O_2$ ). Einige Substanzen, die durch Industrie, Verkehr und Landwirtschaft freigesetzt werden, erhöhen den Ozonabbau“ (LfU, 2014, S. 4). Darüber hinaus können bestimmte klimatische Verhältnisse in der Arktis und Antarktis einen weiteren Ozonabbau induzieren. Zu den ozonabbauenden Substanzen gehören FCKWs, Chlor, Brom, Halogen-

Müller 2009; Roan 1989; Rubin 2001; Solomon 1999, Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2015

	verbindungen, Lachgas, Methan, aber auch aus Vulkanausbrüchen emittiertes Schwefeldioxid.	
<b>Abbau des Ozonmoleküls bedingt durch klimatologische Verhältnisse in der Arktis und Antarktis</b>	<p>Situation in der Antarktis während der Polarnacht: Durch die extrem niedrigen Temperaturen bilden sich stratosphärische Wolken, die aus FCKWs das reaktionsfreudige und langlebige Chlormolekül <math>\text{Cl}_2</math> freisetzen. Der während der Polarnacht vorherrschende antarktische Polarwirbel sorgt für stabile Verhältnisse, die einen Austausch unterbinden und somit eine Anreicherung der Chlormoleküle an den stratosphärischen Wolken begünstigen.</p> <p>Mit dem Einsetzen der Sonnenstrahlung in den Frühlingsmonaten werden die Chlormoleküle in Chloroxid umgebildet, welches die Ozonkonzentration abschwächt.</p>	Müller 2009; Roan 1989; Rubin 2001; Solomon 1999; Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2015
	<p>Die Situation in der Arktis gestaltet sich ähnlich, jedoch weniger gravierend: Zum einen sind die Temperaturen in der Arktis höher als in der Antarktis, so dass sich weniger stratosphärische Wolken und somit eine geringere Freisetzung von <math>\text{Cl}_2</math> verzeichnen lassen. Darüber hinaus verhindern orographische Gegebenheiten eine Ausbildung stabiler Polarwirbel, womit eine weitere Anreicherung des ozonabbauenden Chlormoleküls verhindert wird.</p>	
<b>Entdeckung des Ozonlochs und Reaktionen zum Schutz der Ozonschicht</b>	<p>Mario Molina und Frank Sherwood Rowland publizieren 1974 in Nature die These, FCKWs führen zum Abbau des stratosphärischen Ozons.</p> <p>1985 wird über die Ausdünnung der Ozonkonzentration über der Antarktis berichtet, man spricht vom sog. Ozonloch.</p> <p>In den folgenden Jahren werden zahlreiche</p>	Müller 2009; Roan 1989; Rubin 2001; Solomon 1999; Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2015

Konferenzen zum Schutz der Ozonschicht abgehalten, Zielvereinbarungen formuliert und Verordnungen verabschiedet, wie z.B.:

1. Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht (1985)
2. Protokoll von Montreal (1987)
3. Verordnung (EG) Nr. 1005/2009 und Verordnung (EG) 744/2010) aus dem Jahre 2010
4. Verordnung (EG) 291/2011.

u.a.

*Tabelle 3: Wissenschaftliche Vorstellungen zum Ozonmolekül hinsichtlich Entdeckung, Bildung, Vernichtung sowie Ozonlochthematik (eigene Zusammenstellung)*

Zusammenfassend wird festgehalten:

Das Ozonmolekül absorbiert einen beachtlichen Anteil der energiereichen und gefährlichen UV-Strahlung und ermöglicht somit die Existenz von Mensch, Flora und Fauna sowie ganzer Ökosysteme auf der Erde.

Eine Verwechslung der Ozonloch- und Treibhauseffektthematik könnte insofern erklärt werden, da bei beiden Phänomenen die Treibhausgase  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$  eine Rolle spielen und das Ozonmolekül mit der Prägung des Temperaturverlaufs in der Stratosphäre in Verbindung gebracht wird.

Fortwährend werden die anthropogen induzierten FCKWs als beachtliche Ursache des globalen stratosphärischen Ozonabbaus genannt sowie wird auf die Ausdünnung der Ozonschicht durch klimatologische Phänomene in der Arktis und Antarktis verwiesen.

### **2.3 Analyse des bayerischen Lehrplans zu den Themen Ozon und Strahlungsarten**

Die Analyse des bayerischen Lehrplans (ISB BAYERN 2017A UND 2017B) in den Unterrichtsfächern Geographie und Physik zu den Themen Ozon und UV-Strahlung ergab folgendes Ergebnis:

Weder in der Geographie noch in der Physik sind die Begriffe Ozon, Ozonloch, UV-Strahlung oder weitere Strahlungsarten erwähnt oder in sonstigen Verbindungen bzw. fächerübergreifenden Querverweisen aufgeführt.

#### **Fazit**

Das Literaturstudium sowie die Analyse des bayerischen Lehrplans unterstreichen die Notwendigkeit, eine Aufarbeitung der Themen Ozon und Strahlungsarten in klarer Abgrenzung zu den bereits erarbeiteten Vorschlägen zum Klimawandel anzustreben.

Ein Vorschlag, diese bestehende Lücke zu schließen, könnte folgendermaßen lauten:

Die Studie versucht mit Hilfe einer experimentgestützten Intervention zu den Themen „Ozonherstellung“ und „Ozonvernichtung“ sowie „Eigenschaften von Strahlungsarten“ Schülerfehlvorstellungen zu beseitigen und gezielt gängige Lernervorstellungen zu optimieren.

Dabei wird mit Hilfe eines Leistungstests die Effektivität der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung auf kognitive und methodische Fähigkeiten überprüft sowie motivationale Effekte begleitend erforscht.

### 3. Das kognitiv-motivationale Prozessmodell des Lernens nach RHEINBERG & VOLLMEYER

Neben der Erforschung der Wirksamkeit der eigenständig entwickelten Experimentierumgebung wie auch der Begleitmaterialien auf die Optimierung von Schülervorstellungen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechniken findet eine Begleitforschung zur Erfassung von motivationalen Aspekten statt.

Als theoretisches Gerüst für die Begleitforschung findet das kognitiv-motivationale Prozessmodell nach RHEINBERG & VOLLMEYER (1998) Verwendung, welches unter Mitwirkung der Wissenschaftler ROLLET (2000) und BISCHOFF & ENGESER (2005) u.a. weiterentwickelt wurde und im nachfolgenden Abschnitt umfassend aufgearbeitet wird.

#### 3.1 Grundidee des kognitiv-motivationalen Prozessmodells des Lernens

Das kognitiv-motivationale Prozessmodell stellt eine Besonderheit in der psychologischen Motivations- und Interessenforschung dar:

Zum einen stützt sich das von RHEINBERG & VOLLMEYER (1998) entwickelte Modell auf bewährte, klassische Muster und Theorien der psychologischen Lehr-Lern-Forschung wie

- das Grundmodell der Motivation nach LEWIN aus dem Jahre 1926,
- das Risiko-Wahl-Modell nach ATKINSON (1957 S.365 f.),
- Beiträge zur Erforschung des Flow-Erlebens nach CSIKSZENTMIHÁLYI (1991; 2000 S.56-58),
- die Interessenkomponente der Motivation nach SCHIEFELE (1994) und KRAPP (1996) sowie
- das erweiterte kognitive Motivationsmodell nach HECKHAUSEN und RHEINBERG (1980 S.16f.).

Zum anderen liegt das herausragende Merkmal des kognitiv-motivationalen Prozessmodells im Vergleich zu den oben genannten Modellen in seiner deutlichen Erweiterung: Nachdem die bewährten Modelle ausschließlich auf ein *Leistungsergebnis* abzielen, werden im kognitiv-motivationalen Prozessmodell sämtliche *auf tretende Effekte vor* und *während* des gesamten Lehr-Lern-Prozesses registriert und finden dadurch bspw. für weitere Vorgehensweisen oder auch Optimierungen von didaktischen Lehr-Lern-Umgebungen Beachtung. Somit kann das kognitiv-motivationale Prozessmodell bei konkreten Lernsituationen Anwendung finden und daher komplexere wie auch dynamischere Untersuchungen stützen. Das Modell ist *situationsspezifisch* und lässt *stabile Persönlichkeitsmerkmale* unberücksichtigt.

Die Stärke des Modells liegt in der empirisch gestützten Identifizierung von Ursachen und Bedingungen, die zu einer Veränderung (z.B. der Motivation und Leistung) während des Lehr-Lern-Prozesses führen. Motivation wird nicht als abhängige Variable betrachtet, sondern als eine den Lernerfolg erklärende Variable.

„Im kognitiv-motivationalen Prozessmodell des Lernens wird angenommen, dass der Lernerfolg von *der Qualität und der Dauer* der ausgeführten Lernaktivitäten, aber auch vom *Funktionszustand* des Lernenden während der Lernphase abhängt. Es wird vermutet, dass von mehreren Variablen des Funktionszustandes der Flow-Zustand während des Lernens ist. [...] Gemäß dem kognitiv-motivationalen Prozessmodell wird Flow-Erleben seinerseits über die aktuelle Motivation vor der Lernphase vorhergesagt, wobei die wiederum von einer allgemeineren Motivationsvariablen“ zu Beginn abhängt (ENGESER, RHEINBERG, VOLLMEYER & BISCHOFF 2005 S.2).

Darüber hinaus nimmt das Modell an, „dass Lernleistung von drei Prozessmerkmalen des Lernens abhängt: 1. von der Dauer der Lernphase (der aktiven Lernzeit), 2. der Art und Qualität der dabei ausgeführten Lernaktivitäten (z.B. der verwandten Lernstrategien) und 3. dem Funktionszustand der Person während des Lernens“ (ENGESER, RHEINBERG, VOLLMEYER & BISCHOFF 2005 S.4).

Die nachfolgende Abbildung illustriert das kognitiv-motivationale Prozessmodell, welches sich aus den Clustern Antezedenzen, Aspekte der aktuellen Motivation, Mediatoren und Lernergebnissen aufbaut. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und der zugrundeliegenden Forschungsinteressen der Studie, wird auf Erhebungen zu den Antezedenzen verzichtet.

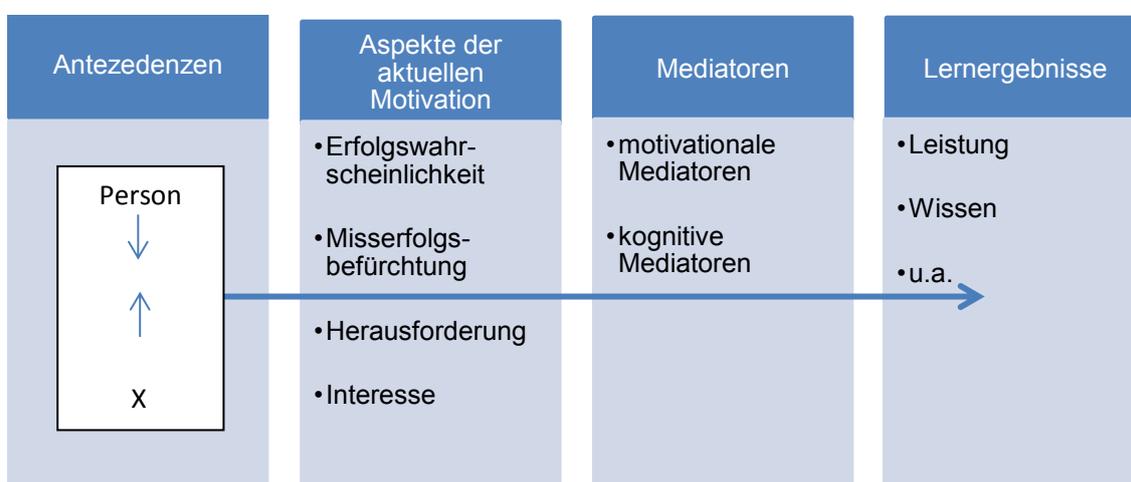


Abbildung 5: Das kognitiv-motivationale Prozessmodell des Lernens nach Falko Rheinberg und Regina Vollmeyer (eigene Darstellung nach RHEINBERG, VOLLMEYER & ROLLETT 2000 S. 504 f.)

### 3.2 Merkmale des kognitiv-motivationalen Prozessmodells des Lernens

Im Folgenden werden die einzelnen Merkmale des kognitiv-motivationalen Prozessmodells des Lernens beleuchtet:

### Antezedenzen

Zu Beginn des Modells sind ‚Antezedenzen‘ aufgeführt, die dem Grundkonzept der Motivation aus Person- und Situationsvariablen dem *klassischen Motivationsmodell* nach LEWIN (1926) entnommen sind. Unter den Antezedenzen versteht man Bedingungsfaktoren, die von der Person (z.B. Interesse, Motive, Selbstwirksamkeitsüberzeugungen, Zielorientierungen) als auch von der präsentierten Situation (z.B. Inhalte, Form und Schwierigkeitsgrad der Aufgabe, Aspekte von Gewinn und Verlust, Einbettung in soziale Bedingungen) ausgehen, miteinander wechselwirken und somit das Verhalten bestimmen.

Das *Verhalten* ist somit eine Funktion, die von den Variablen *Person* (mit stabilen Persönlichkeitsmerkmalen und Kompetenzen) und der *zugrundeliegenden Situation* (Anforderung der Situation, Erwartungen, soziale Bedingungen) abhängt.

Gewöhnlich findet man in der Literatur oftmals keine Aufnahme der ‚Antezedenzen‘ bei der Skizzierung des kognitiv-motivationalen Prozessmodells des Lernens, da stabilen Persönlichkeitseigenschaften oder die Situation beschreibenden Faktoren keine bzw. eine geringe Bedeutung beigemessen wird. Im Gegenzug spielen die differenzierte Betrachtung und die Konsequenzen des Lernprozesses die übergeordnete Rolle.

### Aspekte der Aktuellen Motivation

Eine wichtige Position nehmen hingegen die *Aspekte der Aktuellen Motivation* in diesem Modell ein. Unter den Aspekten der Aktuellen Motivation versteht man die unabhängigen Variablen *Erfolgswahrscheinlichkeit*, *Misserfolgsbefürchtung*, *Interesse* und *Herausforderung*, die unmittelbar nach der Konfrontation mit der Situation, aber vor Ableistung einer Konzeption mit Hilfe des Fragebogens zur Aktuellen Motivation (FAM) erfasst werden (vgl. VOLLMEYER & RHEINBERG 1998 S. 14-16; RHEINBERG, VOLLMEYER & ROLLET 2000 S. 504 F.).

Eine Erfassung dieser vier Komponenten ermöglicht Rückschlüsse auf die Qualität und Stärke der Lernmotivation vor Ableistung einer konkreten Lehr-Lern-Situation. Folglich geht man im kognitiv-motivationalen Prozessmodell des Lernens nicht von einem direkten Zusammenhang zwischen der Aktuellen Motivation und der (Lern-) Leistung aus. Auch sind stabile Persönlichkeitsmerkmale wie Interesse der Aktuellen Motivation vor der konkreten Situation untergeordnet.

Die unabhängigen Variablen *Erfolgswahrscheinlichkeit* und *Misserfolgsbefürchtung* sind dem Risiko-Wahl-Modell nach Atkinson entnommen. So sei nach Atkinson die Motivation für die Bearbeitung einer Aufgabe vom leistungsthematischem Anreiz abhängig. Dementsprechend lösen Aufgaben von interessantem leistungsthematischem Anreiz (Situation) und von mittlerem Schwierigkeitsgrad (Person hofft subjektiv auf Erfolg, geringe Ausprägung von Furcht auf Misserfolg) die stärkste Motivation aus (vgl. ATKINSON 1957 S. 365-372).

Auf Basis der Interessenkomponente der Motivation nach PRENZEL, KRAPP & SCHIEFELE versteht man unter der unabhängigen Variablen *Interesse* die Beziehung einer Person zu einem bestimmten Gegenstand, wobei der Gegenstand auf kognitiver, emotionaler und motivationaler Ebene zur Person betrachtet wird (1986 S. 163-172).

Die unabhängige Variable *Herausforderung* lässt sich durch das erweiterte kognitive Motivationsmodell nach HECKHAUSEN & RHEINBERG (1980 S.16) differenzierter charakterisieren. Das Modell geht der Frage nach, wann eine Person eine Handlung unternimmt, um ein konkretes, anvisiertes Ziel zu erreichen. Dabei spielen folgende vier Faktoren eine Rolle: Situation, Handlung, Ergebnis und Folgen.

HECKHAUSEN & RHEINBERG (1980 S. 7-47) geben auf Grundlage der oben genannten Faktoren drei Erwartungs-Kombinationen vor:

1. Die Situations-Ergebnis-Erwartung
2. Die Handlungs-Ergebnis-Erwartung
3. Die Ergebnis-Folge-Erwartung

#### Mediatoren und Lernergebnisse

Zwischen der Erfassung der Aktuellen Motivation und den endgültigen Resultaten (d.h. Lernergebnissen) beinhaltet das kognitiv-motivationale Prozessmodell des Lernens *Mediatoren*, welche in *kognitive Mediatorvariablen* und *motivationale Mediatorvariablen* weiter differenziert werden. Beide Mediatorvariablen sind als Vermittlungsgrößen zu verstehen, welche von der Aktuellen Motivation beeinflusst werden und Wirkungen auf die spätere (Lern-) Leistung erzielen. Konkret bewirken kognitive Mediatorvariablen z.B. eine Abänderung des Strategieeinsatzes zur besseren Vermittlung eines Inhalts, während motivationale Mediatorvariablen den funktionalen Zustand des Lernenden (z.B. unter einer Variation der Lernzeit, Änderung der Zusammensetzung eines Teams) zu beeinflussen versuchen (RHEINBERG 1996 S. 28f.; RHEINBERG & FRIES 1998 S. 171 ff.).

Sämtliche Mediatorvariablen dienen als Vermittlungsgrößen zwischen den zu Beginn der Intervention festzuhaltenden Aspekten der Aktuellen Motivation und den im Anschluss an den unterrichtlichen Einsatz der Lehr-Lern-Umgebung festzustellenden Lernresultaten in Form eines Wissenszuwachses. Im Sinne der motivationalen Mediatorvariablen sollte die präsentierte Lehr-Lern-Umgebung möglichst ein Flow-Erleben unter den Lernenden hervorrufen (VOLLMEYER & RHEINBERG 1998 S. 11 ff.; RHEINBERG, VOLLMEYER & ROLLET 2000 S. 504 ff.; ENGESER, RHEINBERG, VOLLMEYER & BISCHOFF 2005 S. 160).

Zu den in der Studie verwendeten und den zum kognitiv-motivationalen Prozessmodell abgestimmten Erhebungsinstrumenten sei an dieser Stelle auf das Kapitel „III. 2.2 Messinstrumente zur motivationalen Begleitforschung“ (*siehe S. 67-70*) verwiesen.

#### 4. ‚Design-based Research‘ als Forschungsdesign der Studie

Design-based Research ist ein Forschungsansatz, der in der deutschsprachigen Geographiedidaktik noch wenig bekannt ist. Im folgenden Abschnitt werden die Grundidee und die Hauptmerkmale als auch die iterative Vorgehensweise sowie die anvisierten Ziele von Design-based Research erläutert.

##### 4.1 Grundidee und Merkmale des Design-based Research Forschungsansatzes

Es stellt sich die Frage, auf welchem Grundgedanken und auf welchen Merkmalen der Design-based Research Forschungsansatz fußt. Das nachfolgende Zitat soll hierzu Klarheit schaffen:

„Der Forschungsansatz *Design-Based Research (DBR)* verbindet fachdidaktische Theorie, empirische Forschung und schulische Praxis. In mehreren Zyklen werden Unterrichtskonzepte, die streng theoriegeleitet und auf Basis bisheriger empirischer Forschungserkenntnisse gestaltet werden, in der Praxis erprobt, auf Grundlage einer qualitativ und/oder quantitativ ausgerichteten Begleitforschung modifiziert und erneut im praktischen Einsatz getestet. Die Studien zielen auf praxistaugliche Lösungen für Probleme ab, die in der schulischen Praxis oder in vorangegangenen empirischen Studien identifiziert wurden. Zudem sollen Beiträge zur fachdidaktischen Theoriebildung generiert werden. Design-Based Research möchte den Transfer von Forschungsergebnissen in den Unterricht stärken und das Zusammenwirken von Wissenschaft und Praxis u.a. dadurch befördern, dass Wissenschaftler und Praktiker eng kooperieren“ (FEULNER, OHL & HÖRMANN 2015 S. 205).

Im Grunde schlägt der Forschungsansatz eine Brücke zwischen dem universitären methodisch-didaktischen Fokus und der realen Unterrichtssituation mit dem Ziel, Theorie und Praxis zu optimieren sowie empirische Forschung voranzutreiben. „Der Ertrag entsprechender Forschung besteht in Entwicklungsprodukten, z.B. Schulbüchern bzw. Unterrichtsmaterialien, und gleichzeitig in übertragbaren theoretischen, designbezogenen Erkenntnissen sowie empirischen Forschungsergebnissen“ (WILHELM & HOPF 2014 S. 33).

Auf Basis zahlreicher Publikationen von nationalen und internationalen Autoren, sind die *Hauptmerkmale* des iterativen Forschungsansatzes der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

<b>Merkmal</b>	<b>Autor/en (Auswahl)</b>
Ausgangspunkt sind konkrete, realitätsbezogene Problemstellungen aus der (Unterrichts-) Praxis. Deren Lösung ist ein Ziel von DBR-Projekten.	Anderson & Shattuck 2012, S.16 Reinmann 2005, S. 62 Tulodziecki et al. 2013, S. 214 Wilhelm & Hopf 2014, S. 33
Die Partnerschaft zwischen Forschern und Praktikern ist von entscheidender Bedeutung und zieht sich durch alle Schritte von der Identifizierung des Problems bis zur Erstellung und Veröffentlichung von theoretischen Prinzipien und Designprinzipien.	Reinmann 2005, S. 61f. Tulodziecki et al. 2013, S. 217 Wilhelm & Hopf 2014, S. 33

<p>Die von bisherigen theoretischen und empirischen Erkenntnissen geleitete Entwicklung eines pädagogischen Handlungskonzeptes, Designs bzw. einer Intervention ist ein wichtiger Teil des Forschungsprozesses.</p> <p>Die Erstellung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beginnt mit einer genauen Beurteilung des Kontexts, in dem sie stattfinden soll.</li> <li>• wird durch relevante Literatur, Theorie und Praxis aus anderen Kontexten gestützt.</li> <li>• zielt von Beginn an auf die Überwindung der identifizierten Probleme aus der Praxis ab</li> </ul>	<p>Anderson &amp; Shattuck 2012, S.16  Reinmann 2005, S. 61  Tulodziecki et al. 2013, S. 214  Wilhelm &amp; Hopf 2014, S. 33</p>
<p>Der DBR-Prozess ist iterativ und durchläuft verschiedene Phasen der Analyse, Entwicklung und Umsetzung. In diesen kontinuierlichen, iterativen Zyklen („Iterationen“) erfolgt eine schrittweise Verbesserung im Design wie auch in der Evaluationsmethodik.</p>	<p>Anderson &amp; Shattuck 2012, S.17  Reinmann 2005, S. 62  Tulodziecki et al. 2013, S. 214f.  Wilhelm &amp; Hopf 2014, S. 33</p>
<p>Die Dokumentation von Entwicklung, Situation, Prozess und Ergebnis spielt im Forschungsprozess eine entscheidende Rolle.</p>	<p>Tulodziecki et al. 2013, S. 215</p>
<p>Bei der Evaluation soll ein Methodenmix zum Einsatz kommen. Abhängig von den jeweiligen Fragestellungen variiert die methodische Vorgehensweise. Sowohl qualitative als auch quantitative Methoden können angewendet werden.</p>	<p>Anderson &amp; Shattuck 2012, S.17</p>
<p>Die erzielten Ergebnisse leisten einen wissenschaftlichen Beitrag zur Lehr-Lernforschung und zur Theoriebildung.</p>	<p>Anderson &amp; Shattuck 2012, S.17  Reinmann 2005, S. 62  Wilhelm &amp; Hopf 2014, S. 33</p>

Tabelle 4: Merkmale des DBR Forschungsansatzes, aus: FEULNER, OHL, HÖRMANN 2015 S.211

#### 4.2 Vorgehensweise im Entwicklungszyklus des Design-based Research Ansatzes

Ausgangspunkt eines Forschungsvorhabens nach dem Design-based Research bildet ein reales, aus Theorie und Praxis stammendes, authentisches Problem. Im Anschluss an die konkrete Auseinandersetzung mit dem impulsgebenden Ausgangsproblem werden in symbiotischer Zusammenarbeit von Theoretikern und Praktikern Entwürfe entwickelt, die der Lösung des Problems unter besonderer Berücksichtigung von Rahmenbedingungen dienen. Derartige Unterrichtsentwürfe bzw. Designs (z.B. Lehr-Lern-Umgebungen, Unterrichtsmaterialien) werden unter fortwährender empirischer Begleitung im Unterricht erprobt und evaluiert. Rückmeldungen aus den Evaluationsergebnissen veranlassen ein Re-Design des Prototyps mit dem Ziel der fortwährenden Verbesserung des Produkts.

Eine möglichst perfekte Annäherung des Designs an die Lösung des Problems, erzeugt sowohl Beiträge zur Theoriebildung als auch zur Unterrichtsentwicklung. Ein idealtypischer Verlauf eines DBR-Forschungsvorhabens einschließlich Benennung der Phasen ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen:

Phase	Inhalt
Entwurfsphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angestoßen durch eine konkrete, realitätsbezogene Problemstellung aus der (Unterrichts-) Praxis wird theoriebasiert und auf Basis bisheriger empirischer Erkenntnisse ein erster Prototyp eines Lernszenarios erstellt.</li> <li>• Es spielen u.a. lerntheoretische Überlegungen, aber auch eine Analyse der praktischen Umsetzungsbedingungen eine entscheidende Rolle.</li> </ul>
Umsetzungsphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Lehr-Lernumgebung wird in der Praxis erprobt. Dabei werden mittels empirischer Forschungsmethoden qualitative und/oder quantitative Daten erhoben.</li> <li>• Die partnerschaftliche Kooperation zwischen Forschern und Praktikern ist bei diesem Schritt von zentraler Bedeutung.</li> </ul>
Analysephase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die erhobenen Daten werden analysiert.</li> <li>• Auf der Grundlage der ausgewerteten Daten und der Erfahrungen bei der Durchführung werden Rückschlüsse auf das Re-Design, d.h. die folgende Entwurfsphase, gezogen.</li> <li>• Diese gewonnenen Informationen fließen in das verbesserte Design des Prototyps ein.</li> </ul>
Interpretationsphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es werden übertragbare Erkenntnisse formuliert oder verallgemeinerbare Kriterien für den Einsatz der Lehr-Lernumgebung ausgearbeitet.</li> </ul>

- Re-Design auf Basis der neuen Erkenntnisse
- Modifikation, Re-Design der Lehr-Lernumgebung
- Eventuell auch Anpassung des Messinstrumentes

Abbildung 6: Vorgehensweise eines DBR-Forschungsvorhabens unter besonderer Berücksichtigung der einzelnen Phasen (aus: FEULNER, OHL & HÖRMANN 2015 S.212)

#### 4.3 Outputs von Forschungsvorhaben nach der Vorgehensweise des Design-based Research

Es stellt sich die Frage, welche Ergebnisse wissenschaftliche Forschungsarbeiten nach dem Design-based Research Forschungsverfahren hervorbringen. EDELSON (2002) definiert hierzu drei Entscheidungsbereiche, die im iterativen Entwicklungszyklus stetige Berücksichtigung finden und Orientierungshilfe bieten (s. Abb. 7):

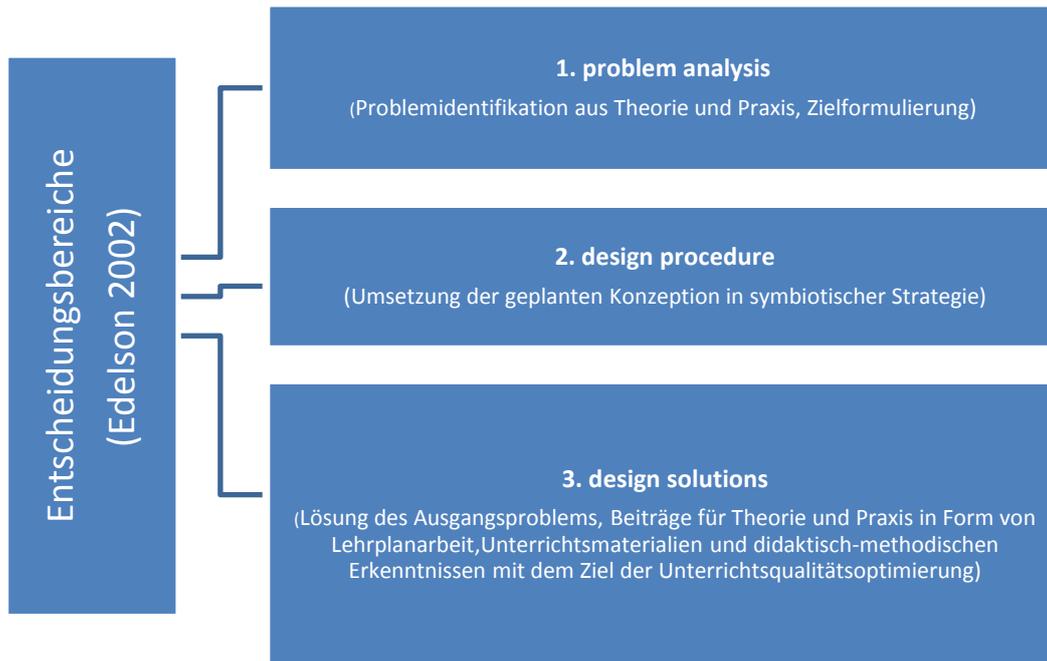


Abbildung 7: Entscheidungsbereiche nach Edelson (eigener Entwurf auf Basis von EDELSON 2002 S.108-109 sowie FEULNER, OHL & HÖRMANN 2015 S.215)

Im Sinne konkreter Outputs, welche allesamt aus dem Forschungsprozess hervorgehen und nicht vorab feststehen, schlägt EDELSON (2002) folgende drei Kategorien der Theoriebildung vor:

Kategorien der Theoriebildung - aus dem Forschungsprozess hervorgegangen - nach Edelson (2002)		
<b>Domain theories</b>	<b>design frameworks</b>	<b>design methodologies</b>
<p>"domänenspezifische, deskriptive Generalisierungen, die sich auf Aspekte des Entscheidungsbereichs <i>problem analysis</i> beziehen" (S.216)</p> <p>Beiträge zu Kontexttheorien (context theories) Ergebnis-/Wirkungstheorien (outcomes theories)</p>	<p>"beziehen sich auf das im Entscheidungsbereich <i>design solutions</i> generierte Wissen (...) und beschreiben dementsprechend verallgemeinernd zielführende Gestaltungsprinzipien" (S.216)</p> <p><i>Endprodukt</i> steht im Fokus</p>	<p>"präskriptive Generalisierungen und Gestaltungsprinzipien, beziehend auf den Entscheidungsbereich <i>design procedures</i>" (S.216)</p> <p><i>Verlauf</i> des iterativen Prozesses (insbesondere Zielvorgaben, Aufgaben und an der Intervention teilnehmende Akteure) steht im Fokus</p>

Abbildung 8: Kategorien der Theoriebildung und Output (eigener Entwurf, zitiert nach FEULNER, OHL & HÖRMANN 2015 S.215-216)

## 5. Zielsetzung der Studie und forschungsleitende Fragen

Nachdem der Forschungsanlass aus wissenschaftlich-theoretischer und unterrichtspraktisch-biographischer Sicht mit Blick auf die gesellschaftliche Relevanz sowie die zentralen

forschungsmethodischen Grundlagen der Studie (Forschungsrahmen Modell der Didaktischen Rekonstruktion, motivationale Begleitforschung auf Basis des kognitiv-motivationalen Prozessmodells des Lernens, Design-based Research als Forschungsdesign) ausführlich referiert worden sind, widmet sich dieser Abschnitt der Zielsetzung und den forschungsleitenden Fragen.

#### **Zielsetzung der Studie:**

*1. Die Optimierung fachwissenschaftlicher Kompetenzen der Probandinnen und Probanden zu ‚Ozon und Strahlungsarten‘ und deren fachmethodischer Kompetenzen im Bereich des Experimentierens anhand einer experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung unter Berücksichtigung motivationaler Effekte.*

*2. Die Formulierung eines Beitrags zur fachdidaktischen Theoriebildung durch die Identifikation von Leitlinien und didaktischen Prinzipien für die unterrichtliche Behandlung des Themas ‚Ozon und Strahlungsarten‘ unter Rückgriff auf das Modell der Didaktischen Rekonstruktion, das kognitiv-motivationale Prozessmodell des Lernens und das Forschungsdesign DBR.*

Durch die Identifizierung von wirksamen Personen-, Prozess- und Produktmerkmalen sollen also konkrete Gestaltungsprinzipien für eine kompetenzorientierte Experimentierumgebung in der Geographiedidaktik abgeleitet und formuliert werden, die der Steigerung und Erweiterung fachwissenschaftlicher und fachmethodischer Kompetenzen sowie motivationalen Perspektiven Rechnung tragen.

#### **Forschungsleitende Fragen, die im Rahmen der Studie beantwortet werden sollen:**

- **Forschungsfrage 1 zu den Gestaltungsprinzipien einer experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung in der Geographiedidaktik**

*Welche Gestaltungsmerkmale sollte eine experimentgestützte situierte Lehr-Lern-Umgebung zum Gegenstand ‚Ozon und Strahlungsarten‘ in der Geographiedidaktik aufweisen, um die fachwissenschaftlichen und fachmethodischen Kenntnisse und Kompetenzen der Schüler zu erweitern und zu trainieren?*

- **Forschungsfrage 2 zur motivationalen Begleitforschung**

*Welche Gestaltungsmerkmale sollte die Lernumgebung unter Berücksichtigung des kognitiv-motivationalen Prozessmodells aufweisen, um bestmögliche motivationale Wirkungen zu entfalten?*

- **Forschungsfrage 3 zum Forschungsdesign Design-based Research**

*Welche Merkmale sollte die Umsetzung des Design-based Research-Ansatzes auf Personen-, Produkt- und Prozessebene aufweisen, um die anvisierten kognitiven, instrumentellen und lernpsychologischen Zielsetzungen in experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebungen bestmöglich zu realisieren?*

### **C. Iterative theoriegeleitete Entwicklung, Erprobung und Evaluation der Unterrichtskonzeption nach der Vorgehensweise des Design-based Research Ansatzes**

In diesem Kapitel wird die theoriegeleitete Entwicklung, unterrichtspraktische Erprobung und auf qualitativen und quantitativen Methoden basierende Evaluation der in der Studie verwendeten

- Erhebungsinstrumente
- experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung
- inhaltsbezogenen Lehr-Lern-Materialien

nach der Vorgehensweise des Design-based Research Forschungsdesigns aufgearbeitet.

Die Studie erfolgte nach dem idealtypischen Ablauf von *Entwurfsphase*, *Umsetzungsphase*, *Analysephase* und *Re-Designphase* nach dem Design-based Research Ansatz (siehe Kapitel 4). Insgesamt umfasst die vorliegende Studie drei Interventionszyklen.

## ***I. Entwurfsphase***

Den Ausgangspunkt einer Studie nach dem Design-based Research bildet ein konkretes, realitätsbezogenes und aus der Praxis stammendes Problem.

In die Entwurfsphase integriert sich somit neben der impulsgebenden Problemstellung für die Studie die Entwicklung einer theoriebasierten Lehr-Lern-Umgebung einschließlich inhaltsbezogener Unterrichtsmaterialien und Erhebungsinstrumenten.

### **1. problem analysis**

Nach EDELSON (2002) bildet der Entscheidungsbereich ‚*problem analysis*‘ den Anstoß eines Forschungsvorhabens: Dabei wird nicht nur ein konkretes Problem aus der Unterrichtspraxis aufgegriffen, sondern auch weitere „Entscheidungen hinsichtlich der zu erreichenden Ziele, Möglichkeiten und Herausforderungen, unter Einbezug der zu bedenkenden Rahmenbedingungen“ (FEULNER, OHL, HÖRMANN & 2015 S. 215) getroffen.

Das nachfolgende Flussdiagramm arbeitet die Architektur der Entwurfsphase – insbesondere den Entscheidungsbereich *problem analysis* vom Anstoß zur Studie über die Ziele und Umsetzungsmöglichkeiten mit den jeweils zu Grunde liegenden theoretischen Hintergründen (z.B. Modell der Didaktischen Rekonstruktion, Differenzierung der anvisierten kognitiv-methodischen und lernpsychologischen Ziele einschließlich Erhebungsinstrumenten sowie der Umgang mit auftretenden Herausforderungen) auf.

## I. Entwurfsphase - problem analysis

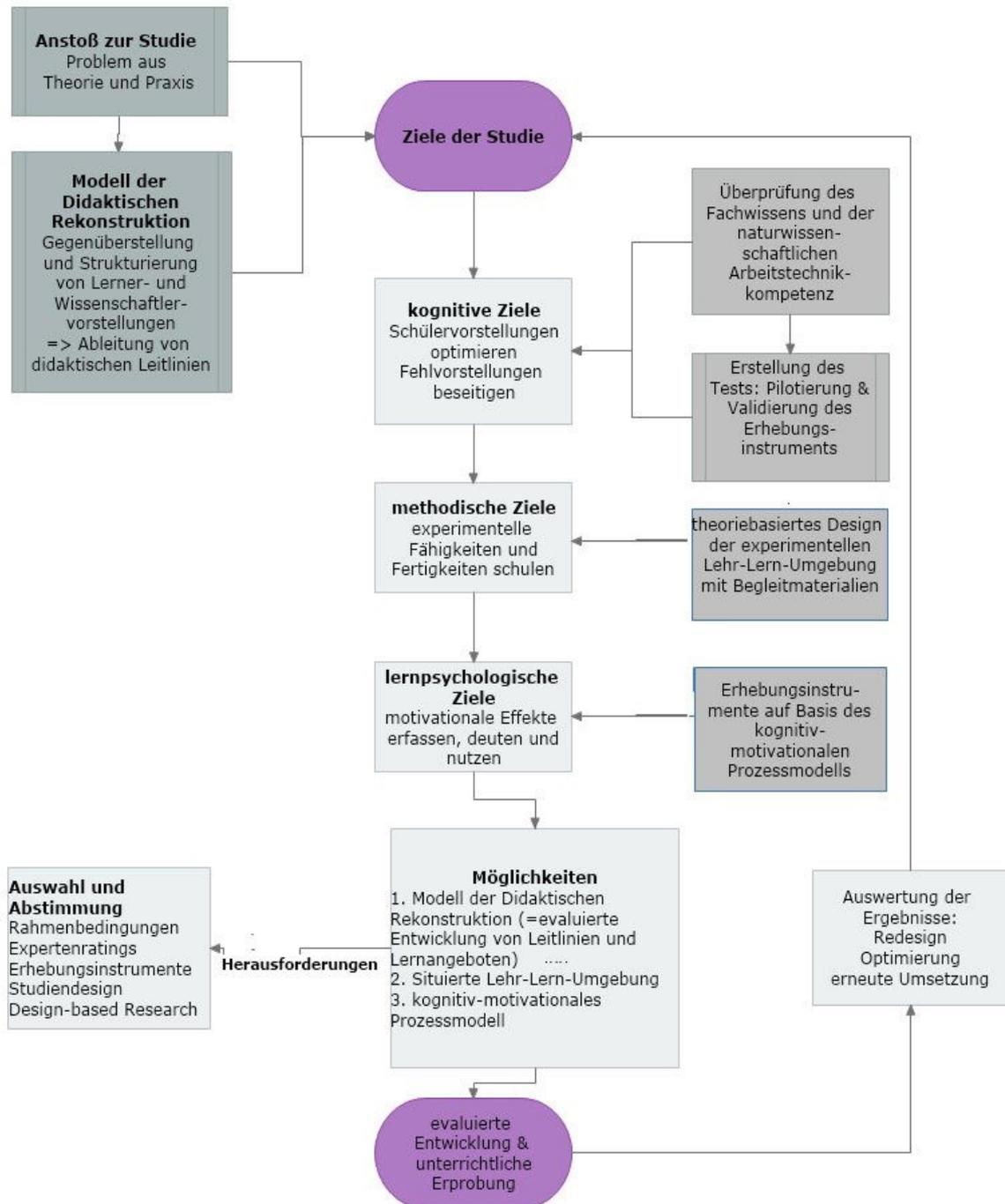


Abbildung 9: Architektur der Entwurfsphase - problem analysis (eigener Entwurf)

Anknüpfend an die empirischen Studien nach PARCHMANN (1996) und SCHULER (2005 & 2011), die sich mit Schülervorstellungen zum Thema Treibhauseffekt beschäftigten, wird eine Lernschwierigkeit fortwährend aufgegriffen:

Das Phänomen Treibhauseffekt und die Ozonthematik werden von Schülern nicht als zwei voneinander unabhängige und somit eigenständige Herausforderungen der Geographie erkannt.

Schuler setzte sich in seiner Dissertation ausgiebig mit der Frage auseinander, welche Vorstellungen von Seiten der Schüler zum Treibhauseffekt existieren und welche Deutungsmuster deren naturwissenschaftlichen Konzepten zu Grunde liegen.

NIEBERT (2010) untersuchte in seinem Promotionsprojekt, wie sich Inhalte des Klimawandels wirksam vermitteln lassen und welche Denkfiguren beim Verstehen des Klimawandels von Schülern bedient werden. Auch diese Studie greift fortwährend einen Zusammenhang zur Ozonthematik auf, obwohl dieser im Zuge des Klimawandels keine Rolle spielt.

Sämtliche eben zitierte Arbeiten nach Parchmann, Schuler und Niebert erkennen die Schwierigkeit der Lernenden, die globalen Herausforderungen wie Treibhauseffekt- und Ozondiskussion, zu trennen. Zwar wurden Vorschläge für die Unterrichtsgestaltung erarbeitet, die fehlerhafte Vorstellungen zum Treibhauseffekt thematisieren und zu beheben versuchen, jedoch blieb die gezielte Auseinandersetzung mit der Ozonthematik bisher außen vor.

Als Unterrichtspraktikerin behandle ich in der 10. und 11. Jahrgangsstufe sowohl den natürlichen als auch den anthropogenen Treibhauseffekt. Um den Schülern den natürlichen Treibhauseffekt nahezubringen, wird dieser mittels einer sich kumulativ ergänzenden Overlaytechnik-Simulation erarbeitet und inhaltlich durchdrungen. Dabei werden die Schüler aufgefordert, jedes Objekt zu benennen, dessen Funktion aber auch Wechselwirkung bzw. Auswirkung zu beschreiben. Im direkten Unterrichtsgespräch mit meinen Schülern, aber auch in fachlichen Diskussionen mit meinen Kollegen lassen sich folgende Schwierigkeiten bzw. Unsicherheiten (in Auszügen) entnehmen:

1. unzureichende Kenntnisse der Strahlungsart, die von der Sonne emittiert wird, und deren Eigenschaften
2. unzureichende Kenntnisse der Strahlungsart, die von der Erdoberfläche reflektiert wird und deren Eigenschaften
3. Unsicherheiten in der Beschreibung des stockwerkartigen Aufbaus der Atmosphäre und dessen Temperatur- wie auch Absorptionseigenschaften
4. synonyme Verwendung der Begriffe Ozonschicht und Treibhausgasschicht
5. Nennung des Ozonlochs in Verbindung mit der Klimawandel- und Treibhauseffektthematik
6. Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur aufgrund des Ozonlochs
7. u.a.

Selbst im eigens gewählten Schwerpunkt Vortrag zu „Umweltrisiken und menschliches Verhalten am Beispiel Klimawandel“ aus dem Halbjahr 11/2 in der mündlichen Abiturprüfung greifen die Oberstufenschüler – obwohl die Ozonthematik weder im Lehrplan steht noch explizit anderweitig behandelt wurde – diese in ihren Ausführungen auf.

Exakt auf den aufgeführten wissenschaftlichen Beiträgen und aus eigenen in langjähriger Unterrichtspraxis gesammelten Erfahrungen fußen die Begründung und die Relevanz der vorliegenden Studie, die diese Lücke schließen möchte.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, basierend auf der Kenntnis von empirisch erfassten Lernschwierigkeiten, experimentgestützte Vorschläge für die Unterrichtsgestaltung zu einzelnen Inhalten der Ozonthematik und der UV-Strahlung zu entwickeln, um einerseits fehlerhafte Schülervorstellungen zu vermeiden und andererseits die Lernergebnisse im naturwissenschaftlich geprägten Geographieunterricht zu optimieren.

Eng verbunden mit der fachwissenschaftlichen Klärung zum Thema Ozon sind Fragestellungen zum Verständnis der Strahlungsarten, wobei die UV-Strahlung heraussticht.

Das Team um Libarkin setzte sich mit Studierenden- und Lehrervorstellungen zur UV- und IR-Strahlung auseinander. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen deutlich, dass selbst Studenten und Lehrende Schwierigkeiten in der korrekten Erklärung und Deutung dieser Strahlungsarten haben (LIBARKIN ET AL. 2011).

PARCHMANN (1996) schlug infolgedessen die Entwicklung und empirisch begleitete Erprobung eines Experiments zur Ozonthematik vor. Einen Versuch hierzu veröffentlichte sie im Artikel „Behandlung des Themas Ozon im Chemieunterricht mit Hilfe anschaulicher Experimente“ (PARCHMANN 1997), der zwar eine anspruchsvolle experimentelle Aufarbeitung zur Thematik aufzeigt, jedoch keine Wirkungen auf die von ihr und weiteren Kollegen festgestellten fehlerhaften Schülervorstellungen und Verwechslungstendenzen zur Treibhauseffekt- bzw. Ozonproblematik untersucht (z.B. simuliert sie die Ozonherstellung mittels Elektrolyse, in weiteren Experimenten werden die Oxidation von Iodidionen zu Iod, die Entfärbung von Indigocarmin, die Zerstörung von Gummi und die Chemilumineszenz durch Ozon aufgearbeitet).

Das Forscherteam BOYES & STANISSTREET (1998) führen die Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler bei der Unterscheidung zwischen dem Treibhauseffekt und Ozonabbau auf Probleme bei der Unterscheidung der IR-Strahlung von der UV-Strahlung zurück. Die in der Studie erfassten Ansichten der Jugendlichen lassen Schülervorstellungen wie einen Zusammenhang zwischen globalen Herausforderungen und einer zunehmenden Anzahl an Hautkrebserkrankungen vermuten. Einerseits sei einem hohen Anteil der Studienteilnehmer bekannt, dass gefährliche UV-Strahlung vermehrt durch das Ozonloch auf die Erde gelangt und dort Hautkrebs verursachen kann. Andererseits vermuten neun von zehn Schülern, dass die Hautkrebsgefahr sowohl von der kurzwelligen UV-Strahlung als auch vom globalen Temperaturanstieg ausgeht. Lediglich einem Schüler war das korrekte naturwissenschaftliche Konzept über die Bedeutung des Ozonlochs, des verstärkten Eindringens der UV-Strahlung in die Troposphäre und der damit zunehmenden Häufigkeit an Hautkrebserkrankungen bekannt. Ein Lösungskonzept zur Vermeidung dieser fehlenden bzw. fehlerhaften Differenzierung wird in dieser Publikation nicht geleistet.

Schuler konstatiert ferner die hohe Gesellschaftsrelevanz: „Die Eigenschaften der UV-Strahlung und die Folgen des Ozonloch-Problems haben eine hohe Relevanz im Alltagskontext (z.B. Schutz der Haut vor zu intensiver UV-Strahlung)“ (SCHULER 2010 S.166).

Eine genaue Lehrplananalyse des Unterrichtsfachs Geographie am bayerischen Gymnasium (ISB BAYERN 2017A) ergibt das gänzliche Fehlen der Ozonthematik – trotz der immensen Gegenwarts- und Zukunftsrelevanz.

Lediglich in der 11. Jahrgangsstufe tauchen die Begriffe ‚Ozon‘ und ‚Ozonloch‘ eher als Randbemerkung zur Erklärung des Treibhauseffekts in den Schulbüchern auf, ohne dass eine weitere Erläuterung oder gar strikte Abgrenzung daran anschließen würde (BAUSKE ET AL. 2009 S. 12 & S.139).

Eine fehlende Lehrplananbindung bedeutet konkret: Den Lernenden werden im Laufe der gymnasialen Schulbildung

- weder die Begriffe Ozon oder Ozonloch, noch die dynamischen Prozesse des Entstehens und der Zerstörung des Moleküls vermittelt
- noch dessen wichtige Funktion in der Stratosphäre als Absorber vor gefährlicher UV-Strahlung und somit Schutz vor Hautkrebs mitgeteilt.

Exemplarisch zeichnet ein Artikel aus ‚Die Welt‘ über die Entwicklung der Anzahl an Hautkrebserkrankten in Deutschland folgendes Bild:

*„Mehr als 1,5 Millionen Menschen waren 2012 in Deutschland an Hautkrebs erkrankt – davon 318.000 mit einem bösartigen Melanom. Die Zahl der bösartigen Neubildungen der Haut stieg damit seit 2005 um 60 Prozent. Noch verbreiteter ist der so genannte helle Hautkrebs, für den 2012 insgesamt 1,3 Millionen Diagnosen dokumentiert wurden. Das entspricht einer Steigerung von 79 Prozent binnen sieben Jahren“ (DIE WELT, ARTIKEL VOM 4.2.2014).*

Anhand der in diesem Abschnitt gezeigten ‚problem analysis‘ und der ausführlichen Aufarbeitung steht fest: Die theoriebasierte Entwicklung, unterrichtspraktische Erprobung und Evaluation einer Experimentierreihe zu den Themen Strahlungsarten und deren Eigenschaften, Wirkungen von Ozon und Folgen der Ozonvernichtung, ist eine realitätsbezogene und anwendungsorientierte Problematik, die sowohl für die Wissenschaft als auch für die Unterrichtspraxis relevant ist (siehe Kapitel 2).

Eine Überprüfung der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung hinsichtlich ihrer Wirksamkeit auf naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenzen sowie inhaltsbezogenes Fachwissen, findet mit Hilfe eines für die Studie entwickelten Tests statt. Die Begleitforschung zur Erfassung von motivationalen Perspektiven unter den Lernenden dient der Beurteilung der entwickelten Lehr-Lern-Umgebung im Hinblick auf deren lernpsychologische Wirksamkeit.

Dies wird in den nachfolgenden Kapiteln näher vorgestellt.

## **2. Erhebungsinstrumente**

In diesem Abschnitt werden die in der Studie verwendeten Messinstrumente zur ‚Erfassung von inhaltsbezogenem Fachwissen und zur naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz‘ (s. *Anhang S.219-232*) sowie zur ‚motivationalen Begleitforschung‘ (s. *Anhang S. 233-234*) ausführlich dargestellt.

### **2.1 Messinstrument zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz**

Der in der Studie eingesetzte Test soll inhaltsbezogenes Fachwissen sowie Kompetenzen hinsichtlich naturwissenschaftlicher Arbeitstechniken abprüfen. Eine Bearbeitung dieses Tests erfolgt durch die an der Studie teilnehmenden Gymnasiasten sowohl vor als auch nach Ableistung der experimentgestützten Intervention, um so Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der Lehr-Lern-Experimente zu erzielen. Da eine umfassende Sichtung von bereits existierenden, in der Praxis erprobten und evaluierten Erhebungsinstrumenten (z.B. BAUMERT ET AL. 1997, 2000, 2001, 2010; DGFG 2012; DRECHSEL ET AL. 2009; GRÄBER 2002; KLIEME ET AL. 2010; KÖLLER 2010; OECD 1999, 2001, 2003, 2008; PRENZEL 2004) keine Verknüpfung zum vorliegenden Forschungsvorhaben erkennen ließ, musste ein derartiger Test eigenständig konzipiert werden. Im nachfolgenden Abschnitt wird die Vorgehensweise bei der Erstellung des Tests sowie die Untersuchung im Hinblick auf dessen Güte erläutert.

#### **2.1.1 Erstellung des Messinstruments zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz**

In der Studie soll ein Messinstrument verwendet werden, das den Wissenszustand zu den Themen Strahlungsarten und deren Eigenschaften, Wirkungen von Ozon und Auswirkungen der Ozonzerstörung sowie zu naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenzen unter gymnasialen Mittelstufenschülern der 10. Jahrgangsstufe erfasst.

Der identische Test soll von den Gymnasiasten jeweils vor und nach Ableistung der Experimentierumgebung bearbeitet werden, um so konkretere Erkenntnisse hinsichtlich der Wirksamkeit der experimentellen Lehr-Lern-Umgebung auf kognitive und methodische Fähigkeiten (auf Basis der Daten aus dem Pre-Post-Vergleich) zu erhalten.

Aus den Schülerantworten der schriftlichen Erhebung – und den später in der Umsetzungsphase beschriebenen differenzierten Beobachtungen aus Schüler-, Lehrer- und Studienleiter-Perspektive – sollen Impulse abgeleitet werden, die eine Verbesserung der Experimentiersituation und der Begleitmaterialien einleiten.

Dabei wird die Zielsetzung der Studie, die in der ‚problem analysis‘ identifizierten, fehlerhaften Schülervorstellungen zu optimieren oder gar gänzlich zu beseitigen, in den Vordergrund gestellt.

Die Entwicklung von Leistungstests (und anderen quantitativen Messinstrumenten) ist ein komplexer, multidimensionaler Prozess, so dass oftmals auf bereits etablierte Erhebungsinstrumente in Forschungsvorhaben zurückgegriffen wird. Folglich fand zunächst eine umfassende Durchsicht von

bereits existierenden, in der Praxis erprobten und evaluierten Leistungs- und Fachwissenstests statt. Dabei handelte es sich um Erhebungsinstrumente, die in abgeschlossenen Dissertationen und Habilitationsverfahren ihren Ursprung und erstmalige Verwendung fanden oder aber auch um solche, die als Produkte zwischen kooperierenden Universitätsprojekten entstanden sind (z.B. BIQUA) und inhaltlich stärker auf die Erforschung von psychologischen Fragestellungen abzielten.

Im Hinblick auf die Aufgabenentwicklungskultur sind die Aufgabenformate aus den PISA-Studien (BAUMERT ET AL. 1997, 2000, 2001, 2010; OECD 1999, 2001, 2003, 2008; PRENZEL 2004) und der Nationalen Bildungsstandards des Unterrichtsfachs Geographie (DGFG 2012) aus folgenden Gründen von Interesse:

Zu Beginn einer Aufgabe erleichtert eine Situationsbeschreibung den Einstieg in die Thematik (d.h. alle Studienteilnehmer werden vom gleichen Kenntnisstand abgeholt) und die nachfolgenden Fragen können auf Basis der bereitgestellten Materialien (Problemschilderung, Luftbilddaufnahmen, Skizzen, Tabellen, u.a.) beantwortet werden. Somit ist die Vorbildung des Lernenden weniger relevant, da die Fragen ausschließlich durch die gezielte Arbeit und Auseinandersetzung mit den Begleitmaterialien beantwortet werden können und anstelle von trägem, reproduzierbarem Wissen eher Reorganisation, Transfer und Cleverness abverlangt werden.

Zwar enthält die PISA-Hauptstudie 2000 eine Teilaufgabe zur Ozonthematik, jedoch ist deren inhaltlicher Schwerpunkt und die damit verbundene Aufarbeitung für das vorliegende Forschungsvorhaben weniger geeignet.

#### Insgesamt erbrachte die ausgiebige Sichtung folgendes Ergebnis:

Es existiert kein Erhebungsinstrument, welches die kognitiven Fähigkeiten zu den in der Studie grundlegenden Themen überprüft oder sich gar inhaltsbezogen mit den naturwissenschaftlichen Arbeitskompetenzen hierzu auseinandersetzt.

Für die Erstellung des Messinstruments zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnikkompetenz dienten folgende Arbeiten als Inspirationsquelle:

1. In der Dissertation ‚Experimentelle naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe - Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven‘ von HENKE (2006) findet der ‚Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen Test (NAW-Test)‘ Verwendung. Das Testinstrument dient einerseits zur Erfassung von experimentell-naturwissenschaftlichen Arbeits- und Denkweisen mit starker Bindung an fachwissenschaftliche Inhalte (Dreiklang Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung), andererseits zur reinen Überprüfung von Fachwissen im Unterrichtsfach Chemie.

Insgesamt ist der NAW-Test ein solides Instrument, jedoch für das vorliegende Forschungsprojekt, aufgrund anderweitiger inhaltlicher und fachbezogener Schwerpunkte, nicht verwendbar. So dient der von Henke verwendete NAW-Test als inspirierende Strukturierungs- und Formulierungshilfe für das in der vorliegenden Studie verwendete Messinstrument.

2. In ihrer Studie zur Erfassung von Schülervorstellungen (Schülerverständnis) zu den Themen Treibhauseffekt, Ozonloch und saurer Regen entwickelte DOVE (1996) einen Test, der Schüler mit Aussagen zu den eben genannten Themen konfrontiert. Dabei erhalten die Lernenden die

Möglichkeit, die in Hypothesenform formulierten Aussagen zu bejahen, zu verneinen oder mit „weiß nicht“ zu beantworten.

HANSEN (2010) veröffentlichte Ausschnitte seines Fragebogens aus der Studie ‘Knowledge about the greenhouse effect and the effects of the ozone layer among Norwegian pupils finishing compulsory education in 1989, 1993 and 2005 – What now?’, die sich mit unterschiedlichsten Aspekten der Treibhauseffekt- und Ozonloch-Diskussion inhaltlich befassen.

Auf Basis der beiden Tests, die aus dem Englischen bzw. Norwegischen ins Deutsche (eigene Übersetzung) übertragen wurden, wurde ein 30-Items umfassender Fachwissenstest erstellt, der das in der vorliegenden Studie verwendete Messinstrument als Kontrollfunktion abrundet.

Die 30 Items bestehen aus heterogenen Aussagen zu den Themen Ozon, Strahlungsarten und Treibhauseffekt.

Das der Studie zugrundeliegende Messinstrument zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz ist somit vom NAW-Test inspiriert (HENKE 2006) und enthält überdies Items der Tests nach DOVE (1996) und HANSEN (2010).

Für die Erstellung des der Studie zugrundeliegenden Messinstruments galt eine Orientierung an bereits identifizierten Schüler(wohl-)vorstellungen und Denkfiguren (siehe Kapitel B 2), deren inhaltliche Auseinandersetzung auch im Test abgebildet ist. Darüber hinaus gilt insbesondere der NAW-Test nach HENKE (2006) als inspirierende Quelle, da der Gedanke an die spätere experimentelle Umsetzung in der theoriegeleiteten Lehr-Lern-Umgebung die Erstellung des Tests begleitete:

So enthält der Test zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz die klassischen experimentellen Arbeitsweisen auf dem Weg des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns von der Hypothesenbildung, über die Planung und Durchführung eines Experiments bis hin zur Schlussfolgerung im Sinne der Verifizierung oder Falsifizierung der Hypothesen. Gleichzeitig jedoch ist der Weg des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns stark an Fachwissen (insbesondere Strahlungsarten, Herstellung und Vernichtung von Ozon, Absorptionsvarianten) gebunden.

Das Messinstrument zielt somit auf die Erfassung von *Inhaltswissen* (Themenbereiche Strahlungsarten, Ozonherstellung und Ozonzerstörung), *Handlungswissen* (z.B. naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinn: Planung und Durchführung des Experiments, Interpretation von Satellitenbilder) und *Begründungswissen* (z.B. Verifizierung oder Falsifizierung von Ergebnissen) ab. Gleichsam werden Schülervorstellungen als auch Handlungsaufforderungen, mit Modellen, Abbildungen, Experimenten u.a. zu arbeiten, berücksichtigt.

### 2.1.2 Aufbau des Tests

Die erste Seite des Tests dient als Anschreiben an die Schüler und gliedert sich in drei Bereiche:

1. Initiator der Studie (Nennung des Namens der Studienleiterin, der Universität Augsburg einschließlich Fakultät und Lehrstuhl) sowie die Thematik des Tests „Naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen“.
2. Erhebung personenbezogener (Initialen, Geschlecht und Alter) und leistungsbezogener (erzielte Note in den Unterrichtsfächern Physik und Geographie im Halbjahreszeugnis) Daten.
3. Im direkten Anschreiben erfahren die Schülerinnen und Schüler die inhaltlichen Schwerpunkte des Tests und erhalten genaue Instruktionsanweisungen, wie offene und geschlossene Aufgabenformate zu beantworten sind. Die Bearbeitungszeit ist mit 60 Minuten angesetzt.

Die folgenden Seiten (d.h. S. 2 bis 14) des Tests beinhalten sieben Hauptaufgaben mit Unteraufgaben, deren Antworten von offenem als auch geschlossenem Charakter sind. Inhaltlich verknüpft der Test Fachwissen und experimentell-methodische Arbeitsweisen mit dem Ziel, bereits identifizierte fehlerhafte Schülervorstellungen (erneut) zu ermitteln und diese durch die besondere Aufarbeitung im Experiment zu beheben. Die Aufgaben 1 bis 7.6 sind vom NAW-Test (HENKE 2006) inspiriert, die Aufgaben 7.7 bis 7.31 entsprechen den von DOVE (1996) und HANSEN (2010) formulierten Items.

Das Testinstrument ist im Anhang (*siehe S. 219-232*) einzusehen.

#### Inhaltlicher Schwerpunkt der Aufgaben

**Aufgabe 1:** Thermische Eigenschaften von UV-, VIS- und IR-Strahlung sowie dessen Schädigungspotential auf organische Körper.

#### Schülervorstellungen zu Aufgabe 1:

*Erhöhte UV-Strahlung (durch Abbau der Ozonschicht) verursacht (globale) Erwärmung* (KOULADIS & CHRISTIDOU 1999; BOYES & STANISSTREET 1997),

*UV-Strahlung ist eine starke und sehr heiße Strahlung* (BOYES & STANISSTREET 1997; KOULADIS & CHRISTIDOU 1999),

*keine Unterscheidung zwischen UV-Strahlung, Wärmestrahlen und höherer Lufttemperatur, UV-Strahlung ist sichtbares Licht und besteht aus starken (energiereichen) Strahlen, UV-Strahlung ist violett-farben, kann auch eine Farbe wie rot, blau und lila haben, UV-Strahlung ist unsichtbares Licht, UV-Strahlung ist eine Form der elektro-magnetischen Strahlung* (BOYES & STANISSTREET 1997; BOYES & STANISSTREET 1998; FISHER 1998; ÖSTERLIND 2005 LIBARKIN ET AL. 2011),

*Menschen tragen Sonnenschutzmittel an sonnigen Tagen wegen der UV-Strahlung auf die Haut auf, Zusammenhang von UV-Strahlung mit Sonnenbrand und Hautkrebs, mögliche Schutzmaßnahmen* (LIBARKIN ET AL. 2011; SUPING 2004; LEIGHTON & BISANZ 2003)

**Aufgabe 2:** Absorptionsverhalten ausgewählter Materialien vor UV-Strahlung, deren Transmissionseigenschaften und Eignung im Alltagsgebrauch (z.B. Material für Hausbau, Kleidung)

Schülervorstellungen zu Aufgabe 2:

*Menschen tragen Sonnenschutzmittel an sonnigen Tagen wegen der UV-Strahlung auf die Haut auf, Zusammenhang von UV-Strahlung mit Sonnenbrand und Hautkrebs, mögliche Schutzmaßnahmen* (LIBARKIN ET AL 2011; SUPING 2004; LEIGHTON & BISANZ 2003)

**Aufgabe 3:** Schutzmaßnahmen vor UV-Strahlung, deren experimentelle Überprüfung. Auswirkungen von UV-Strahlung auf Mensch, Tier- und Pflanzenwelt.

Schülervorstellungen zu Aufgabe 3:

*Menschen tragen Sonnenschutzmittel an sonnigen Tagen wegen der UV-Strahlung auf die Haut auf, Zusammenhang von UV-Strahlung mit Sonnenbrand und Hautkrebs, mögliche Schutzmaßnahmen* (LIBARKIN ET AL 2011; SUPING 2004; LEIGHTON & BISANZ 2003)

*Zusammenhang: dünnere Ozonschicht bedeutet mehr UV-Strahlung auf der Erde und somit ein höheres Hautkrebsrisiko* (BOYES & STANISSTREET 1998; LEIGHTON & BISANZ 2003; BOYES, STANISSTREET & PAPANTONIOU 1999)

**Aufgabe 4:** Verlauf der UV-Strahlungsleistung während eines Tages sowie im Laufe eines Jahres, dabei Berücksichtigung und Diskussion der UV-absorbierenden Wirkung von UV-Strahlung durch Wolken. Schutzmaßnahmen vor UV-Strahlung.

Schülervorstellungen zu Aufgabe 4:

*Menschen tragen Sonnenschutzmittel an sonnigen Tagen wegen der UV-Strahlung auf die Haut auf, Zusammenhang von UV-Strahlung mit Sonnenbrand und Hautkrebs, mögliche Schutzmaßnahmen* (LIBARKIN ET AL. 2011; SUPING 2004; LEIGHTON & BISANZ 2003)

*UV-Strahlung kommt von der Sonne, Die Sonne ist die einzige Quelle von UV-Strahlung* (LIBARKIN ET AL. 2011),

*Zusammenhang: dünnere Ozonschicht bedeutet mehr UV-Strahlung auf der Erde und somit ein höheres Hautkrebsrisiko* (BOYES & STANISSTREET 1998; LEIGHTON & BISANZ 2003; BOYES, STANISSTREET & PAPANTONIOU 1999)

**Aufgabe 5:** Herstellung von Ozon, Absorbierende Wirkung von Ozon auf UV-Strahlung, keine Temperaturveränderung durch Ozonherstellung und damit verbundener UV-Absorption.

Schülervorstellungen zu Aufgabe 5:

*Menschen tragen Sonnenschutzmittel an sonnigen Tagen wegen der UV-Strahlung auf die Haut auf, Zusammenhang von UV-Strahlung mit Sonnenbrand und Hautkrebs, mögliche Schutzmaßnahmen* (LIBARKIN ET AL. 2011; SUPING 2004; LEIGHTON & BISANZ 2003)

*UV-Strahlung kommt von der Sonne, Die Sonne ist die einzige Quelle von UV-Strahlung* (LIBARKIN ET AL. 2011),

*Zusammenhang: dünnere Ozonschicht bedeutet mehr UV-Strahlung auf der Erde und somit ein höheres Hautkrebsrisiko* (BOYES & STANISSTREET 1998; LEIGHTON & BISANZ 2003; BOYES, STANISSTREET & PAPANTONIOU 1999)

*Unter Treibhauseffekt versteht man, wenn Sonnenstrahlen von der Ozonschicht abgefangen werden* (BOYES & STANISSTREET 1997; KOULADIS & CHRISTIDOU 1999; PRUNEAU ET AL. 2003)

*Zum Treibhauseffekt kommt es, wenn Sonnenstrahlen von der Erdoberfläche reflektiert und von der Ozonschicht eingefangen werden, Sonnenstrahlen werden vom Ozon „gefangen“* (KOULADIS & CHRISTIDOU 1999; BOYES & STANISSTREET 1997; PRUNEAU ET AL. 2003)

*UV-Strahlung ist eine starke und sehr heiÙe, von der Sonne kommende Strahlung (BOYES & STANISSTREET 1997; KOULALIDIS & CHRISTIDOU 1999), UV-Strahlung ist sichtbares Licht und besteht aus starken (energiereichen) Strahlen, UV-Strahlung ist violett-farben, kann auch eine Farbe wie rot, blau und lila haben, UV-Strahlung ist unsichtbares Licht, UV-Strahlung ist eine Form der elektro-magnetischen Strahlung (LIBARKIN ET AL. 2011)*

**Aufgabe 6:** Zerstörung von Ozon durch Dichlormethan, Modellhafte Darstellung und Simulation des Ozonlochs und dessen Auswirkungen auf UV-absorbierende und thermische Mechanismen im Experiment.

#### Schülervorstellungen zu Aufgabe 6:

*Zusammenhang: dünnere Ozonschicht bedeutet mehr UV-Strahlung auf der Erde und somit ein höheres Hautkrebsrisiko (BOYES & STANISSTREET 1998; LEIGHTON & BISANZ 2003; BOYES, STANISSTREET & PAPANTONIOU 1999)*

*Erhöhung der eingehenden UV-Strahlung oder allgemein der Sonnenstrahlung auf die Erde durch die Zerstörung der Ozonschicht, Erhöhte UV-Strahlung durch Abbau der Ozonschicht verursacht globale Erwärmung (KOULALIDIS & CHRISTIDOU 1999; BOYES & STANISSTREET 1997)*

*Zusammenhang UV-Strahlung und Klimawandel (RYE, RUBBA & WIESENMAYER 1997; HANSEN 2010)*

*UV-Strahlung ist eine starke und sehr heiÙe, von der Sonne kommende Strahlung (BOYES & STANISSTREET 1997; KOULALIDIS & CHRISTIDOU 1999), UV-Strahlung ist sichtbares Licht und besteht aus starken (energiereichen) Strahlen, UV-Strahlung ist violett-farben, kann auch eine Farbe wie rot, blau und lila haben, UV-Strahlung ist unsichtbares Licht, UV-Strahlung ist eine Form der elektro-magnetischen Strahlung, UV-Strahlung kommt durch ein Loch in der Ozonschicht auf die Erde (LIBARKIN ET AL. 2011)*

*Zum Treibhauseffekt kommt es, wenn Sonnenstrahlen von der Erdoberfläche reflektiert und von der Ozonschicht eingefangen werden, Sonnenstrahlen werden vom Ozon „gefangen“ (KOULALIDIS & CHRISTIDOU 1999; BOYES & STANISSTREET 1997; PRUNEAU ET AL. 2003)*

*Der Abbau der Ozonschicht verursacht die globale Erwärmung (BOYES & STANISSTREET 1993 & 1998; BOYES ET AL. 1993; FISHER 1998; GOWDA ET AL. 1997; PRUNEAU ET AL. 2001; BOYES & STANISSTREET 1994 & 1997; RYE ET AL. 1997)*

*kühlere Luft entweicht von der Erde durch das Ozonloch, zunehmende globale Durchschnittstemperatur (BOYES & STANISSTREET 1997)*

*Ozonloch ermöglicht mehr Sonnenenergie, die die Erde erreicht, was zur globalen Erwärmung führt (ANDERSSON & WALLIN 2000; BOYES ET AL. 1999; BOYES & STANISSTREET 1994 & 1997, KOULALIDIS & CHRISTIDOU 1999; ÖSTERLIND 2005; PRUNEAU ET AL. 2003; RYE ET AL. 1997)*

*Zusammenhang: dünnere Ozonschicht bedeutet mehr UV-Strahlung auf der Erde und somit ein höheres Hautkrebsrisiko (BOYES & STANISSTREET 1998; LEIGHTON & BISANZ 2003; BOYES, STANISSTREET & PAPANTONIOU 1999)*

*Die Treibhausgase verursachen eine Verkleinerung (eher Ausdünnung) der Ozonschicht (BOYES & STANISSTREET 1994; RYE ET AL. 1997; BOYES ET AL. 1999)*

*Der Treibhauseffekt verursacht einen Anstieg von Luftschadstoffen und die Schwächung der Ozonschicht (BOYES & STANISSTREET 1997)*

*„Ozonabbau“ als eine Hauptursache der globalen Erwärmung und des Klimawandels. Eine allgemein gehaltene Idee war, dass das Ozonloch es ermöglicht, dass mehr Sonnenenergie die Erde erreicht, wodurch die globale Erwärmung und der Klimawandel zustande kommen*

*die globale Erwärmung bewirkt das Ozonloch; Folgen der globalen Erwärmung sind Hautkrebs und Ausdünnung der Ozonschicht (ÖSTERLIND 2005; PRUNEAU ET AL. 2003; ANDERSSON & WALLIN 2000; KOULALIDIS & CHRISTIDOU 1999; BOYES ET AL. 1999; BOYES & STANISSTREET 1994 & 1997; RYE ET AL. 1997; LIBARKIN ET AL. 2011)*

**Aufgabe 7:** Bedeutung von FCKW und Ozonvernichtung, Auseinandersetzung mit den Wirkungen des Protokolls von Montreal unter genauer Betrachtung von Satellitenbildern und der Verweildauer ausgewählter Treibhausgase, Konfrontation mit Aussagen zu den Themen Ozon(loch), Strahlungsarten und Treibhauseffekt.

### Schülervorstellungen zu Aufgabe 7:

*Siehe Aufgaben 1 bis 6*

### Methodische Aufarbeitung der Aufgaben

Zu Beginn jeder Aufgabe steht eine Vignette in Form einer Situationsbeschreibung oder Problemstellung, die den inhaltlichen Schwerpunkt der Aufgabe thematisiert. Auf Grundlage des Informationsgehalts des von der Studienleiterin selbstständig erstellten Einführungstextes können Schüler unabhängig von Vorbildung, Ansichten und Vorwissen wissensbezogene Elemente identifizieren, mit deren Hilfe sich die folgenden Aufgaben bearbeiten lassen. Die Gestaltung der Einführungstexte bzw. –situationen bedient sich den klassischen Kriterien der Unterrichtsprinzipien Selbsttätigkeit, Differenzierung, Veranschaulichung, Motivierung, Ganzheit, Zielorientierung, Strukturierung sowie Ergebnissicherung (vgl. WIATER 2014) und den identifizierten Schülervorstellungen (siehe Kapitel B. 2).

Sämtliche Aufgaben dienen inhaltlich-methodisch entweder der Hypothesenbildung, der Planung und Durchführung eines Experiments oder der Verifizierung bzw. Falsifizierung von formulierten Hypothesen.

Vereinzelt werden Materialien, Gerätschaften und ganze Experimente in Form von Abbildungen präsentiert und in ihrer Funktionsweise als auch Handhabung unter dem Aspekt der geltenden Sicherheitsrichtlinien erläutert.

Die in den einzelnen Aufgabenblöcken integrierten Abbildungen dienen der Veranschaulichung (z.B. Aufbau eines Versuchs), der Hilfestellung (z.B. tabellarische Zusammenfassung von Ergebnissen), der Interpretation (Vergleich und Interpretation von Diagrammen), aber auch der Beurteilung (Satellitenbilddaufnahmen) und Bewertung (stummer Impuls durch eine skizzierte Person) einer Situation oder auch weiteren geplanten Handlungsschritten.

### Erstellung einer Musterlösung

Der Test enthält Antworten von offenem und geschlossenem Format. Insbesondere die geschlossenen Antworten (binäre Items mit Antwortmöglichkeit ja oder nein) sind im Vergleich zu den offenen Antworten eindeutig und somit einfacher auszuwerten. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, mögliche Musterlösungen auf die offenen Aufgabenformate vorab umfassend zu überdenken und auszuformulieren.

### 2.1.3 Expertenrating

Es stellt sich die Frage, inwieweit aus wissenschaftlicher und unterrichtspraktischer Perspektive, aber auch aus Schülersicht der Test als Messinstrument zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz geeignet ist.

In der nachfolgenden Darstellung sind die am Expertenrating involvierten Akteure abgebildet (s. Abb. 10). Gemäß dem Design-based Research Forschungsgerüst findet eine enge Zusammenarbeit zwischen Experten unterschiedlicher Ebenen (Wissenschaftler, Gymnasiallehrer, aktiv und passiv beteiligte Schüler, Studienleiterin) statt.

Aus der aktiven und kritischen Auseinandersetzung der Beteiligten ergaben sich wertvolle Rückmeldungen (z.B. in Form von Interviews, Erfahrungen aus den praktischen Erprobungen wie dem Bearbeiten von Erhebungsinstrumenten, der Durchsicht von Begleitmaterialien und dem Absolvieren der situierten Lehr-Lern-Umgebung), aus denen Optimierungsvorschläge abgeleitet werden konnten.

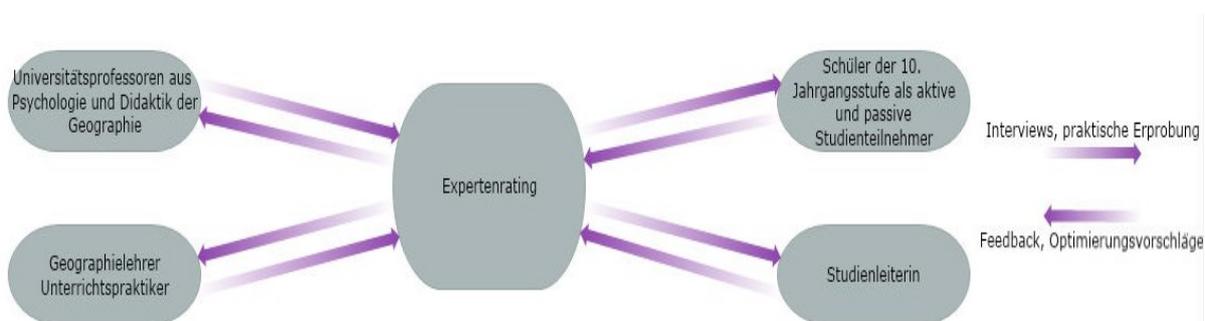


Abbildung 10: Akteure des Expertenratings und deren Funktion (eigener Entwurf)

Im Folgenden werden die Inhalte und Ergebnisse der Expertenratings aufgezeigt sowie die Validität des Tests erörtert.

#### 2.1.3.1 Wissenschaftliche Beratung und Pre-Test

Eine Universitätsprofessorin leistete aus Sicht der Geographiedidaktik die erste Durchsicht und eigenständige Bearbeitung des Tests (Pre-Test).

Die Professorin erkannte folgende Vorzüge des Erhebungsinstrumentes: Die Aufgabenformate sind inhaltlich und methodisch abwechslungsreich und zielen fortwährend auf den Dreiklang Hypothesenbildung – Experiment – Schlussfolgerung naturwissenschaftlichen Arbeitens ab. Inhaltlich greifen die einzelnen Aufgabenblöcke stets auf bereits identifizierte Denkfiguren ab, die den Auslöser der Studie bilden. Das Erhebungsinstrument ist somit eindeutig theoriebasiert erarbeitet. Neben dem logischen Aufbau des Tests wurden die zahlreichen Abbildungen positiv hervorgehoben.

Neutral äußerte sich die Lehrstuhlinhaberin zum Anspruchsniveau des Tests: Aus ihrer Sicht sind die Aufgaben für Mittelstufenschüler möglicherweise z.T. recht anspruchsvoll, auch an den verwendeten Operatoren ließe sich ein zunehmender Anspruch und höherer Schwierigkeitsgrad der Aufgaben erkennen. Ob die Schüler in der Lage sind, diesen Test binnen 60 Minuten zu bearbeiten, ließe sich nach Meinung der Geographiedidaktikerin erst durch den Pre-Test mit den Gymnasiasten herausfinden. Da die Schüler jedoch allumfassend (Unterricht in naturwissenschaftlichen,

sprachlichen, gesellschafts-wissenschaftlichen und künstlerische Fächern) ausgebildet werden und permanent Prüfungssituationen ausgesetzt sind, können sich diese möglicherweise gut an andere Aufgabekulturen anpassen und im Test positive Ergebnisse erzielen. Aus diesem Grunde einigte man sich an dieser Stelle auf ein weiteres Expertenrating durch Schüler, die den Test bearbeiten und somit weitere Rückschlüsse auf dessen Brauchbarkeit leisten sollen.

Auch wenn im Test Fachbegriffe verwendet werden, die aus dem Unterricht seit einigen Jahren bereits bekannt sein müssten, empfiehlt es sich, deren deutsche Übersetzung oder auch Erklärung niederzuschreiben (z.B. Absorption [Aufnahme]). Im Hinblick auf inhaltliche und logische Richtigkeit wurden auf Vorschlag der Geographieprofessorin die Aufgaben 3.1 und 3.2 vertauscht (d.h. zuerst Hypothesenbildung und dann Planung des Experiments).

Ein Psychologielehrstuhlinhaber wirkte am Validierungsprozess des Tests mit. Im Rahmen des Expertenratings begutachtete dieser den Test hinsichtlich des Aufbaus (logischer Aufbau, nach Inhalten geordnet, deutliche Akzentuierung auf Denkfiguren), der Gestaltung (saubere und übersichtliche Abbildungen, genügend Platz für die Beantwortung der offenen Aufgaben) und der sprachlichen Formulierung (z.B. Testteilnehmer direkt ansprechen, keine zu langen oder zu kurzen Antworten formulieren, auf eindeutige Anweisungen achten). Er charakterisierte das Erhebungsinstrument als methodisch und inhaltlich abwechslungsreich sowie heterogen. Hinsichtlich der Auswertung des Tests gab er den Hinweis, eine Skalenbildung nach Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung oder nach inhaltlichen Gruppen bzw. Clusterbildung (insofern dies bei einem heterogenen Test möglich sei) vorzunehmen.

Ergänzend zur Frage nach dem Geschlecht und Alter des Testbearbeiters könnte man ihm zufolge die erzielten Halbjahresleistungen des letzten Zeugnisses in den Fächern Physik und Geographie erheben, um evtl. Korrelationen zwischen den Noten in beiden genannten Fächern und den erzielten Leistungen im Test herauszuarbeiten. Ihn beschäftigte die Frage, warum eine Anonymisierung der Testpersonen erst in der Präsentation der Ergebnisse erfolge, und nicht schon während der Bearbeitung des Tests (z.B. erhält der Schüler x von Anfang an den Code 101). Die spätere Anonymisierung der Testteilnehmer ist auf das Design-based Research Forschungsdesign der Studie zurückzuführen, welche sich quantitativem und auch qualitativem Methodenrepertoire bedient. So können zwar die Ergebnisse aus dem Leistungstest und der motivationalen Begleitforschung Auskünfte hinsichtlich der Wirksamkeit der Lehr-Lern-Umgebung auf die Variablen ‚Schülerleistung‘ und ‚Motivation‘ erteilen, jedoch erlaubt die offensichtliche Codierung des Teilnehmers ein direktes Gespräch mit diesem z.B. über dessen Wahrnehmungen und Ansichten bezüglich der Intervention.

Forschungsvorhaben, an denen nicht nur eine Person, sondern ein Team von Wissenschaftlern arbeiten, können eine Stichprobe von mehr als 1000 Teilnehmern, die eine größere Objektivität ausweisen, in ihre Studie aufnehmen. Da die vorliegende Studie nicht im Rahmen eines Forschungsteams durchgeführt worden war, wurde eine Stichprobe von 200 bis 300 Gymnasiasten

herangezogen. Das Format der Studie ermöglicht laut des Psychologielehrstuhlinhabers diese Größenordnung ohne weiteres.

Die Grundidee, die Intervention in z.B. drei Interventionsphasen (davon zwei optimierte Versionen) mit jeweils 18 Schülern durchzuführen, sei nach Ansicht des Universitätsprofessors für quantitative und qualitative Beobachtungen und Erhebungen optimal. Um jedoch weitere Erkenntnisse über die Brauchbarkeit des Tests zu erhalten, empfahl der Lehrstuhlinhaber weitere Expertenratings mit erfahrenen Gymnasiallehrern und Schülern.

### **2.1.3.2 Beratung durch Unterrichtspraktiker und Pre-Test**

In der zweiten Phase des Expertenratings wurden Unterrichtspraktiker involviert, um die Akzeptanz des Tests durch die Kooperation mit Gymnasiallehrern hinsichtlich der fachdidaktischen Angemessenheit und der Relevanz der Inhalte aus Theorie- und Praxissicht zu bewerten.

Nach einer kurzen Einführung zur Zielsetzung des Tests (Erforschen von Fachwissen und der naturwissenschaftlichen Arbeitskompetenz mit dem inhaltsbezogenen Schwerpunkt, die bereits identifizierten Denkfiguren zu den Themen Strahlung und Ozon zu optimieren) bearbeiteten die Lehrer mit der Facultas Geographie das Erhebungsinstrument.

Die ersten Reaktionen nach der Bearbeitung ergaben, dass der Test an sich sehr naturwissenschaftlich geprägt sei, jedoch auch von Gymnasiallehrern ohne naturwissenschaftliches Zweitfach problemlos zu bearbeiten ist. Im Vergleich zu bisher eingesetzten Aufgabenstellungen in Stegreifaufgaben und Klausuren entsprechen die im Test verwendeten Formate einer Aufgabenkultur, wie sie etwa in den Prüfungsaufgaben der PISA-Studien oder auch Nationalen Bildungsstandards des Unterrichtsfachs Geographie erarbeitet worden sind.

Obwohl eine Bearbeitungszeit von 60 Minuten veranschlagt worden war, konnten die Tests von den Gymnasiallehrern innerhalb von 35 bis 45 Minuten vollständig gelöst werden.

Im Anschluss wurde im Plenum der Test nach folgenden Kriterien ausführlich diskutiert:

- Formaler Aufbau der Aufgaben,
- Aspekte sprachlicher Formulierung,
- Aspekte des Aufgabenstamms,
- Aspekte der Tätigkeits- oder Handlungsaufforderung,
- Aspekte des Lösungswegs und der (Muster-) Lösung

(siehe „Checkliste für Testaufgaben“, Zusatzmaterialien aus: KRÜGER, PARCHMANN & SCHECKER 2013).

#### Zum formalen Aufbau der Aufgaben

Insgesamt handelt es sich um sieben Hauptaufgaben mit Unteraufgaben. Den formalen Aufbau des Tests betreffend, wurden von den Gymnasiallehrern folgende Merkmale positiv hervorgehoben:

Zu Beginn jeder Aufgabe ist eine Problem- bzw. Situationsbeschreibung aufgeführt, die sicherstellt, dass jedem Probanden, der den Test bearbeiten muss, gleiche Kontextinformationen, Fachinformationen, Beschreibungen zum Material und zur Handhabung der Gerätschaften bekannt sind. Ein Vorwissen wird somit nicht vom Testbearbeiter verlangt, so dass die Teilnehmer vom identischen Startpunkt aus gefordert werden. In den Aufgaben sind die Fragen, vereinzelt Handlungsschritte wie auch die Probleme eindeutig formuliert. Insgesamt wird mehrmals betont, dass die Aufgaben inhaltlich und methodisch sehr abwechslungsreich (Fachwissen, Handlungswissen, Begründungswissen) gestaltet sind, da Hypothesen formuliert werden müssen, Experimente von sachlogischem Standpunkt geplant, vorbereitet und durchgeführt sowie die entwickelten Hypothesen verifiziert bzw. falsifiziert werden. Laufend weisen die Aufgaben einen Tätigkeitsanreiz auf bzw. fordern zur weiteren Handlung heraus.

Darüber hinaus finden abwechselnde Operatoren im Test Verwendung, die den einzelnen Items unterschiedliche Schwierigkeitsgrade verleihen und unterschiedliche Wissensarten (z.B. Fachwissen, Handlungswissen, Begründungswissen) beanspruchen.

Die Antwortformate, die als offene Antworten, aber auch Multiple Choice Varianten präsentiert werden, zeichnen sich durch eine hohe Abwechslung aus. Letzterer Aufgabentypus gewährleistet die Eindeutigkeit der Antworten.

Die Gestaltung des Tests erweist sich als sehr übersichtlich, es bleibt genügend Platz für die Beantwortung der offenen Fragen, die zahlreichen ikonischen Darstellungen und weitere Abbildungen (Versuchsmaterialien, Satellitenbilder) bilden eine gute Hilfestellung für die Schüler. Obwohl der Test an sich sehr naturwissenschaftlich (im Sinne der Physik) geprägt wirkt, prüft er methodische Arbeitsweisen, wie die Interpretation eines Satellitenbildes, die Deutung von Modellen und das experimentelle, geographiebezogene Arbeiten, ab.

Laut Meinung der Experten ist der Test durchwegs sehr gut strukturiert und in sich logisch aufgebaut. Ein wichtiges Kriterium des Tests ist die Tatsache, dass die einzelnen Aufgaben eindeutig und nicht voneinander abhängig sind. So kann ein Schüler, der z.B. in Aufgabe 1 gescheitert ist, dennoch gute bis sehr gute Ergebnisse in den anderen Aufgaben erzielen. Aus Sicht der Gymnasiallehrer wirkt die Unabhängigkeit der Aufgaben voneinander sehr motivierend, weil ein Versagen zu Beginn der Bearbeitung des Tests eine weitere Beantwortung unmöglich erscheinen lassen würde.

Die Gruppe der potentiellen Probanden setzt sich aus Schülerinnen und Schülern der 10. Jahrgangsstufe am bayerischen Gymnasium zusammen, womit nach Meinung der Geographielehrer der Test für diesen Adressatenkreis im Hinblick auf Inhalt und methodischem Know-How gut geeignet scheint. Befürchtungen, dass eine erfolgreiche Bearbeitung des Tests vom besuchten gymnasialen Zweig abhängt (z.B. Schüler mit naturwissenschaftlichem Profil schneiden im Test besser ab als solche, die den sprachlichen Zweig des Gymnasiums besuchen), stellten sich sowohl während des Schüler-Expertenratings als auch der tatsächlichen Durchführung der Tests mit knapp 300 Schülern als unbegründet heraus.

Um diesem Einwand jedoch gerecht zu werden, soll die Erfassung der im letzten Zeugnis erzielten Note in den Unterrichtsfächern Physik und Geographie evtl. zeigen, dass die Zensuren nicht von Relevanz für die Bearbeitung des Tests sind (z.B. ein Schüler, der gute Leistungen in Physik erbringt, schneidet automatisch gut im Test ab, wohingegen ein Schüler, dessen Stärken weniger im naturwissenschaftlichen Bereich liegen, entsprechend schwächere Leistungen im Test zeigt).

#### Zu den Aspekten der sprachlichen Formulierung

Positiven Anklang finden das Layout und die Formatierung des Tests, welche als sehr ansprechend und einheitlich (klare Abgrenzung des Beginns und Endes einer Aufgabe, Nummerierung der Unteraufgaben, Angabe von Seitenzahlen) gekennzeichnet sind. Sowohl die verwendete Sprache, die den Aufgaben (und z.T. auch Antworten) zu Grunde liegende Satzlänge als auch der Einsatz von Fachbegriffen und deren Übersetzung ins Deutsche, seien angemessen. Erklärungen in den Situations- und Problembeschreibungen sowie in den geschlossenen Aufgabenantworten sind an die Fähigkeiten der Mittelstufenschüler angepasst.

Geschickt ist die Art und Positionierung der verwendeten Abbildungen, die weder künstlich noch isoliert im Test eingebettet sind, sondern die Aufgabenstellungen und Inhalte sinnvoll ergänzen oder erläutern.

Die Stellung der Aufgabenformate im direkten Stil sorgt dafür, dass sich die Schüler unmittelbar angesprochen fühlen. Ferner wirken – laut Anmerkung der Unterrichtspraktiker – die direkte Involvierung der Schüler („Sie sollen planen, Ihr Lehrer spricht an“) und der hohe Alltagsbezug der realitätsbezogenen Aufgaben motivierend für die Bearbeitung der Aufgaben.

#### Zu den Aspekten des Aufgabenstamms

Der Aufgabenstamm der jeweiligen Aufgabe weist eine klare und präzise Beschreibung der Situation mit eindeutigen Informationen auf, so werden u.a. im Experiment sämtliche Handlungsschritte kleinschrittig und nachvollziehbar beschrieben.

Die im Test enthaltenen Experimente entstammen der Realität (Situationsbeschreibung, Messwerte), sind authentisch und bedienen sich am Modell-Übertrag. Eine hohe Glaubwürdigkeit und somit Akzeptanz durch die Unterrichtspraktiker erfahren z.B. die im Test aufgeführten Messwerte und Materialien. Alle Experimente sind von der Testerstellerin selbst aufgebaut, durchgeführt und ausgewertet worden, womit zum einen eine praktikable Unterrichtssituation und zum anderen eine fachliche Korrektheit der Informationen vorliegen.

### Zu den Aspekten der Tätigkeits- oder Handlungsaufforderung

Das Design der Aufgaben umfasst die Frage nach Hypothesenbildung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des Experiments sowie die Hypothesenüberprüfung im Sinne einer Verifizierung und Falsifizierung. Dabei sind die einzelnen Schritte des naturwissenschaftlichen Arbeitens stets an die gegebenen fachlichen Inhalte gebunden und mit den aufbereiteten Informationen sinnvoll verknüpft. Die Stellung der Fragen und Probleme sind fachlich klar formuliert, zielführend und eindeutig zu beantworten. Die wohlüberlegte Wahl der Operatoren zeigt stets eine verständliche, logische und auf die gegebenen Informationen verweisende und basierende Handlungs- und Tätigkeitsaufforderung.

### Zu den Aspekten des Lösungswegs und der (Muster-)Lösung

Die Musterlösung ist fachlich richtig, bei geschlossenen Aufgaben gibt es nur eine korrekte Lösung (d.h. die Antwortoption ist entweder eindeutig richtig oder falsch).

Ein Vorteil der offen gestellten Fragen ist die Schaffung von Freiräumen für individuelle, über das übliche Maß zu erwartende, korrekte Antworten (dazu existiert ein Erwartungshorizont, der Abstufungen zulässt). Möglichweise können fachlich falsche Antworten Hinweise über fehlerbehaftete Schülervorstellungen leisten, die z.B. in der experimentellen Lehr-Lern-Umgebung aufzugreifen und zu beseitigen sind. Insbesondere die Aufgabe 4 des Tests stellt eine logische Verknüpfung der Aufgaben 1 bis 3 dar, womit ein Lernzuwachs an diesem Aufgabenbeispiel nach Aussage des Expertenratingteams direkt erkennbar sei.

Lobend wurden das sehr ansprechende optische Design des Tests sowie die Auswahl der Abbildungen hervorgehoben. Zusammenfassend wurden die Vorzüge des Messinstruments von den Unterrichtspraktikern fortwährend betont, jedoch wurde auch hier – wie von Seiten der beiden wissenschaftlichen Berater – die Empfehlung ausgesprochen, das Erhebungsinstrument mit Schülern (keine Studienteilnehmer) im Hinblick auf dessen Validität zu diskutieren.

#### **2.1.3.3 Beratung durch Schüler und Pre-Test**

Im abschließenden Verfahren des Expertenratings wurden Gymnasiasten zu Rate gezogen, die den Test unter den genannten Prüfungsbedingungen (Arbeitszeit von 60 Minuten, keine Hilfsmittel wie Taschenrechner o.ä.) bearbeiteten und diesen in einem anschließend stattfindenden Gespräch auf dessen Vorzüge und möglichen Schwächen beurteilten.

Die am Expertenrating und Pre-Test-Verfahren beteiligten Schüler sind zwischen 15 und 16 Jahre alt, besuchen das naturwissenschaftliche bzw. sprachliche Profil der 10. Jahrgangsstufe eines bayerischen Gymnasiums und nehmen nicht an der eigentlichen Studie teil.

Vor der Bearbeitung des Tests erläuterte die Studienleiterin den Mittelstufenschülern deren wichtige Funktion im Expertenrating-Verfahren im Rahmen des laufenden Forschungsvorhabens. Auch wurden die Jugendlichen darauf hingewiesen, den Test nach bestem Wissen und Gewissen engagiert zu

bearbeiten und mögliche Fragen und Unklarheiten im darauffolgenden Gespräch zu stellen oder zu nennen. Während der Testbearbeitung durften keine Rückfragen gestellt werden, da das Messinstrument den allgemeingültigen Kriterien (Objektivität, Validität und Reliabilität) entsprechen und somit stets ohne weitere Einschränkungen von Dritten Verwendung finden soll. Die Testteilnehmer wurden lediglich alle 15 Minuten an die noch verbleibende Prüfungszeit erinnert.

Folgende Aussagen konnten aus dem Evaluationsgespräch gewonnen werden:

„Das Thema des Tests ist sehr interessant, die Testaufgaben sind abwechslungsreich, da man mit Texten, Experimentskizzen, Tabellen, Satellitenbildern arbeiten muss.“

„Es war gut, dass man bei manchen Aufgaben die Antworten nur ankreuzen musste, bei anderen wiederum musste man genau ausformulieren, wie z.B. ein Versuch geplant werden muss oder gar Versuchsergebnisse zu deuten sind. Persönlich sind mir Antworten zum Ankreuzen lieber, da man da weniger schreiben muss, jedoch hatte ich den Eindruck, dass die Textantworten mir eher das Gefühl vermittelt haben, das Thema verstanden zu haben.“

„Ich konnte zwar nicht alles bei einem Aufgabenblock bearbeiten, aber auch wenn ich mal eine Frage ausgelassen und nur geraten habe, waren wieder Aufgaben dabei, die ich sehr wohl lösen konnte. Deswegen habe ich den Test auch bis zum Schluss bearbeitet.“

„Zuerst war ich schon ein wenig nervös, weil ich noch nie an einer Studie teilgenommen habe. Beim Durchlesen der Anleitung wusste ich sofort, was mich erwartet und wie die Fragen zu beantworten sind. Ein wenig komisch fand ich die erste Aufgabe, da ich von Schulaufgaben und anderen Prüfungen andere Aufgabenstellungen gewohnt bin. Bisher musste ich noch nie so viel Text in einer Schulaufgabe lesen oder nur Antworten ankreuzen. Aber man gewöhnt sich schnell an das neue Aufgabenformat.“

„Mir hat die Optik des Tests sehr gut gefallen. Durch das Geheft war alles sehr übersichtlich, die Abbildungen sind eine gute Hilfestellung und die Infotexte haben jeden vom gleichen Punkt abgeholt. In der Schule haben wir bisher noch nichts zu Ozon und Strahlung gelernt. Aber ich habe schon vom Ozonloch und dem Treibhauseffekt gehört.“

„Am Anfang kam mir der Test sehr lang vor, aber die Zeit verging beim Lösen der Aufgaben recht schnell. Eigentlich hätten wir 60 Minuten Zeit gehabt, war selbst aber nach ungefähr 45 Minuten schon durch. Wenngleich ich mich sehr gesund ernähre, haben mich die Aufgaben zur UV-Strahlung nachdenklich gemacht. Im Test fielen mir viele Möglichkeiten ein, wie man sich vor der gefährlichen UV-Strahlung schützen kann. Aber so richtig aufgepasst habe ich bisher noch nicht. Das werde ich künftig tun.“

„Obwohl ich mich mit Ozon und UV-Strahlung noch nicht auseinandergesetzt habe, regen mich die Aufgaben im Test schon an, über derartige Themen nachzudenken. Ich glaube, dass die Aufgaben nicht frei erfunden sind und im Alltag auch eine große Bedeutung besitzen. Es würde aus meiner Sicht schon Sinn machen, die Experimente nicht nur im Test mit Papier und Bleistift zu planen, theoretisch Messungen anzustellen und Datensätze zu interpretieren, sondern auch mal in der Praxis zu testen.“

„Eigentlich dachte ich, der Test möchte herausfinden, wie gut wir Schüler in Geographie sind. Aber dass man bei den geographischen Themen so gut über Physik und Chemie Bescheid wissen muss, das hätte ich nicht erwartet. Im Test kamen Fachbegriffe und Fremdwörter vor, die gut erklärt waren. Mir haben die Materialien bei der Bearbeitung der Aufgaben sehr geholfen. Und obwohl ich in Physik echt nicht gut bin, hatte ich nie Angst, den Test nicht zu schaffen. Erst jetzt ist mir bewusst, dass Geographie auch viel mit Physik und Chemie zu tun hat.“

„Klar, das waren alles Themen, die uns betreffen. Die von Ihnen verfassten Infotexte waren flüssig formuliert, sprachen direkt an, um was es geht. Am Anfang fand ich den Test recht umfangreich, aber da waren die vielen Ankreuzaufgaben und die auf den letzten beiden Seiten abgedruckten Aufgaben schnell zu bearbeiten.“

„Bei den beiden Aufgaben, wo man Ozon erzeugen und vernichten muss, haben mich die vielen Angaben in der Abbildung etwas irritiert. Da wäre vielleicht weniger Information besser, also man soll sich auf das Wichtigste beschränken. Die vielen Satellitenbilder fand ich gut, so kann man die Erhöhung und Abnahme des Ozons im Laufe der Zeit gut erkennen. Schließlich sind die Satellitenbilder ja echt, wodurch die Aufgaben noch viel authentischer rüberkommen. Ein wenig bin ich nun schon in Sorge, da ich im Sommer gerne auf Sonnenschutz verzichte und bei wolkenverhangenem Himmel immer dachte, da bekommt man keinen Sonnenbrand. Zukünftig muss ich mehr darauf achten, keinen Sonnenbrand zu bekommen, da das böse enden kann.“

Aus der Vielzahl an Aussagen ist zu entnehmen, dass von Seiten der Gymnasiasten der Test in Aufbau, Inhalt, Form, Sprache und Anforderungsniveau große Akzeptanz erfahren hat.

Kleine Abänderungen ergaben sich z.B. in der Skizze zum Versuch der Ozonherstellung, die nach Auskunft der Schüler viele genaue Informationen enthielt, welche für die Bearbeitung nicht notwendig sind. Somit wurden die Abbildungen inhaltlich auf das Wesentliche reduziert.

#### **2.1.4 Der naturwissenschaftliche Arbeitstechnikkompetenz- und Fachwissenstest im Hinblick auf dessen Güte**

Um die Reliabilität, die Itemschwierigkeit sowie die Trennschärfe des Tests zu bestimmen, bearbeiteten 292 Gymnasiasten der 10. Jahrgangsstufe das Erhebungsinstrument.

##### **2.1.4.1 Wahl der Studienteilnehmer und Bearbeitung des Erhebungsinstruments**

Die Wahl der Studienteilnehmer beschränkte sich auf Gymnasien in Bayerisch-Schwaben, zu welchen bereits während des Expertenratings Kontakt bestand. Man entschied sich bewusst für Studienteilnehmer, die sich im letzten Drittel der 10. Jahrgangsstufe und somit kurz vor dem Erwerb des Mittleren Bildungsabschlusses befinden. Folgende Überlegungen liegen der Studienteilnehmerwahl zu Grunde:

- Gymnasiasten, die sich kurz vor dem Eintritt in die gymnasiale Oberstufe befinden, haben unabhängig vom besuchten gymnasialen Zweig eine umfassende Ausbildung im gesamten Fächerkanon erhalten. Folglich sollte ein in Deutschland ausgebildeter Mensch in der Lage sein, mit Erwerb des Mittleren Bildungsabschlusses in das Berufsleben überzutreten und sein Leben verantwortungsvoll zu gestalten. Ziele der schulischen Ausbildung sind somit die individuelle Implementierung lösungsorientierten Denkens und Handelns, die Fähigkeit des angemessenen situativen Wissenstransfers und daher die Möglichkeit der kompetenten und nachhaltigen Mitgestaltung der Gesellschaft.
- Es wird der zuvor skizzierte Gedanke erneut aufgegriffen und anhand des Schulfaches Geographie weiter ausgeführt. Die Studie bezieht sich in der Auswahl ihrer Teilnehmer auf die Bildungsstandards im Fach Geographie der Deutschen Gesellschaft für Geographie, deren Aufgabekulturen sich den Kompetenzen und Anforderungen widmen, die ein Schüler bei Erwerb des Mittleren Schulabschlusses (10. Jahrgangsstufe als Schnittstelle zwischen Schul- und Berufsleben bzw. anderweitiger Entwicklungswege) erfüllen sollte (vgl. Kapitel B 2.1)

In einem Schreiben über Ziele, Inhalte und Ablauf der Studie sowie durch persönliche Gespräche wurden Kontakte zu Schulleitern und weiteren kooperierenden Lehrern geknüpft. Eine besondere Stellung kommt den involvierten Gymnasiallehrern zu: zum einen fungierten alle an der Studie mitwirkenden Kollegen als direkte Ansprechpartner von Eltern und Schülern (Multiplikatorrolle, z.B. Verteilung und Rücklauf des Anschreibens an die Eltern), zum anderen wurde so der organisatorische Rahmen (z.B. Stundenplanwechsel, Raumtausch, keine Kollision mit Schulaufgabenterminen, etc.) sichergestellt.

Der Rücklauf der Elterninformationsschreiben ließ erkennen, dass von allen Eltern die Teilnahme ihres Kindes an der Studie begrüßt wurde.

Die Bearbeitung des Erhebungsinstruments erfolgte nach Benachrichtigung der Erziehungsberechtigten binnen zwei Wochen an den drei ausgewählten Gymnasien. Am Tag der Testbearbeitung verteilten die Kollegen das Erhebungsinstrument an die Schüler, welches von den Jugendlichen binnen 60 Minuten ohne Einsatz von Hilfsmitteln (z.B. Taschenrechner), gesonderten

Hinweisen oder einer gemeinsamen Einlesezeit bearbeitet wurde. Während der Beaufsichtigung des Tests kündigten die Kollegen lediglich die noch verbleibende Bearbeitungsdauer an.

Besonderheiten während der Beaufsichtigung (z.B. auftretende Unklarheiten) oder nach dem Rücklauf der Tests (z.B. Anmerkungen zum Testformat) stellten die Kollegen nicht fest.

### 2.1.4.2 Auswertung der Ergebnisse

Nachfolgend ist der Ablauf zur Auswertung und Vorbereitung der Daten für weitere statistische Verarbeitungen mit Excel und SPSS 19 beschrieben.

#### 2.1.4.2.1 Vergabe von Werte- und Variablenlabels

Zunächst erfolgte die Auswertung der Originaldaten. In einer Excel-Tabelle wurden die Ergebnisse des Tests eingetragen, wobei hierfür Variablen- und Wertelabels vergeben wurden.

Exemplarisch erfolgte die Auswertung nach folgendem Muster:

1. Erfassung der ID des Studienteilnehmers, daraus Aufnahme von Geschlecht und Alter.
2. Eintragen der Halbjahresgesamtnote in den Fächern Geographie und Physik.
3. Auswertung des Tests nach Variable (Item-Nummer), Variablenlabel (Aufgabenstellung) und Wertelabel (Antwort ja oder Antwort nein).
  - a) Sollte der Schüler die Aufgabe 1A.01 mit „nein“ beantworten, so wird als Wert „0“ in die Excel-Tabelle eingetragen, sollte der Schüler der Aussage zustimmen, so wird das „ja“ mit „1“ gewertet. Dieses Schema gilt für alle Items mit binärem Antwortformat (siehe Tab. 5).

Variable	Variablenlabel	Werte	Wertelabel
HJ_G	Halbjahresgesamtnote Geographie		
HJ_P	Halbjahresgesamtnote Physik		
1A.01	Die Abstände zwischen Leuchtmittel und Thermometer waren unterschiedlich groß, und deshalb	0 Nein	1 Ja
1A.02	Bei der Bestrahlung der Thermometer wird gleich viel Wärmeenergie verbraucht.	0 Nein	1 Ja
1A.03	Bei der Bestrahlung der Thermometer mit sichtbarem und IR-Licht wird mehr Wärmeenergie frei	0 Nein	1 Ja
1A.04	Das Thermometer unter der UV-Lampe wird weniger erwärmt, weil UV-Strahlung weniger energi	0 Nein	1 Ja
1B.01	Bei der Halbierung des Abstandes der Strahlungsquellen zum Thermometer ist eine direkte Prop	0 Nein	1 Ja

Tabelle 5: Auswertung mit Wertelabel Ja und Nein

b) Offene Aufgabenstellungen, die eine Begründung (wie z.B. 2A.09), eine Planung (z.B. 3A.02) bzw. Auswertung (z.B. 6A.02) eines Experiments oder gar die Interpretation von Diagrammen (z.B. 4A.01) oder Satellitenbildern (z.B. 7A.05) abverlangen, werden – wie der Tabelle 6 zu entnehmen – ausgewertet:

Variable	Variablenlabel	Werte	Wertelabel
2A.06	Transmission von Plexiglas und UV-B-Strahlung bei ca. 0%.		0 Nein
			1 Ja
2A.07	Transmission von PVC und UV-C-Strahlung bei ca. 2%.		0 Nein
			1 Ja
2A.08	Transmission von Quarzglas und allen UV-Strahlungen bei ca. 75-95%.		0 Nein
			1 Ja
2A.09	Begründen Sie bitte kurz, wer von Ihnen beiden Recht hat.		1 Begründung sehr gut
			2 Begründung gut
			3 Begründung befriedigend
			4 Begründung ausreichend
			5 Begründung mangelhaft
			6 Begründung ungenügend
3A.01	Stellen Sie vor der Versuchsdurchführung mit Hilfe der nachstehenden Begriffe sieben Hypothesen		0 0 Thesen sind richtig
			1 1 These ist richtig
			2 2 Thesen sind richtig
			3 3 Thesen sind richtig
			4 4 Thesen sind richtig
			5 5 Thesen sind richtig
			6 6 Thesen sind richtig
			7 7 Thesen sind richtig
3A.02	Beschreiben Sie bitte im Folgenden ihr Experiment. Versuchen Sie, jeden ihrer geplanten Arbeitsschritte		1 Begründung sehr gut
			2 Begründung gut
			3 Begründung befriedigend
			4 Begründung ausreichend

Tabelle 6: Auswertung von Aufgaben mit offenem Antwortcharakter

c) Items in Form von Aussagen (7A.07 bis 7A.36), denen zugestimmt bzw. nicht zugestimmt wird oder deren inhaltliche Richtigkeit nicht bekannt ist, werden wie folgt ausgewertet:

Variable	Variablenlabel	Werte	Wertelabel
7A.07	Löcher in der Ozonschicht werden größer durch FCKWs.		1 Ja
			2 Nein
			3 Weiß nicht
7A.08	Löcher in der Ozonschicht werden größer durch die Emission von Kohlendioxid.		1 Ja
			2 Nein
			3 Weiß nicht
7A.09	Ozon kommt außer in der Stratosphäre auch in Bodennähe vor.		1 Ja
			2 Nein
			3 Weiß nicht

Tabelle 7: Items mit den Antwortmöglichkeiten ja, nein, weiß nicht

Auf Grundlage der Daten konnten mit Excel und SPSS19 weitere Auswertungen vorgenommen werden. Ziel ist es, anhand einer Faktorenanalyse Skalen der Items zu erfassen und diese auf Validität zu überprüfen. Zudem wurde untersucht, wie sich die Ergebnisse von der Validität konfirmatorisch gewählter Skalen (Hypothese, Experiment und Schlussfolgerung) unterscheiden.

#### 2.1.4.2.2 Datensatzkonvertierung

Für die Vorbereitung der Daten zur Faktorenanalyse wurden für einzelne binäre Items, die einer Frage zugehörig sind, Summenskalen erhoben. So wird für jede richtig angekreuzte Antwort ein Punkt vergeben. Von dieser Punktevergabe sind folgende Items betroffen:

1A.01 bis 1A.04  
 1B.01 bis 1B.04  
 1C.01 bis 1C.04  
 2A.01 bis 2A.04  
 2A.05 bis 2A.08  
 5.01 bis 5.04  
 5.05 bis 5.06  
 7.01 bis 7.03

## 7.07 bis 7.36

Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass für eine Faktorenanalyse alle Items gleichgerichtet sind.

Die entwickelten Punkteskalen bauen auf dem Prinzip auf, dass der Schüler ein besseres Ergebnis erzielt, wenn er mehr Punkte erreicht. Aufgrund dessen werden die Items, die mit einer Benotung der Antworten (d.h. 1 = sehr gut und 6 = ungenügend) einhergehen, umkodiert.

Im Folgenden sind diese Items somit positiv gerichtet (d.h. 1 = ungenügend und 6 = sehr gut) und mit einem anhängenden "r" gekennzeichnet. Ebenso müssen die Items für die Durchführung der Faktorenanalyse über dieselbe Länge, d.h. über dieselbe Punktespanne, verfügen. Hierfür wurden die für die Faktorenanalyse relevanten Items standardisiert.

### 2.1.4.2.3 Zuordnung zu den Skalen

In diesem Abschnitt wird die Zuordnung der Items mittels einer Faktorenanalyse mit drei festen Faktoren und einer Varimax-Rotation der konfirmatorischen Zuordnung gegenübergestellt. Die Skalen der Faktorenanalyse stimmen somit nicht gänzlich mit der konfirmatorisch bestimmten Zuordnung überein.

Item bzw. Summenskalen	Faktorenanalyse	Konfirmatorisch
NAW_1A	3	S
NAW_1B	3	S
NAW_1C	3	S
NAW_2A.1	3	S
NAW_2A.2	3	S
NAW_2A.09r	3	H
NAW_3,01	1	H
NAW_3,02r	2	E
NAW_3,03r	2	S
NAW_4,01r	2	S
NAW_4,02r	2	S
NAW_5.1	3	H
NAW_5.2	2	H
NAW_6,01r	2	E
NAW_6,02r	2	H
NAW_6,03r	1	S
NAW_7.1	2	H
NAW_7,04r	1	E
NAW_7,05r	1	E
NAW_7,06r	1	S
NAW_7.2	2	H

Tabelle 8: Zuordnung der Items (Skala 1/2/3; Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung)

#### 2.1.4.2.4 Reliabilität

Es werden nun beide Skalenordnungen auf ihre Reliabilität mittels der Reliabilitätsanalyse und dem daraus resultierenden Cronbach's Alpha überprüft.

Skala	Cronbach's Alpha
Faktorenanalyse	
Skala 1	0,686
Skala 2	0,654
Skala 3	0,433
konfirmatorisch	
Hypothese	0,425
Experiment	0,626
Schlussfolgerung	0,488

Tabelle 9: Reliabilität der Skalen

Vergleicht man die interne Konsistenz beider Zuordnungsmöglichkeiten, so zeigen sich keine relevanten Unterschiede. Es kann somit auch die konfirmatorische Zuordnung gewählt werden. Weiterhin wird untersucht, welchen Wert das Cronbach's Alpha für die Gesamtdaten annimmt. Dies ist mit einem Wert von 0,750 sehr hoch, liegt jedoch auch über den Werten der einzelnen Skalen.

Es handelt sich mit einem Cronbach's Alpha von 0,750 um einen akzeptablen bis guten Wert, der einerseits für die Reliabilität des Messinstruments spricht, andererseits zu einer Optimierung veranlasst (siehe Reliabilitäten der Skalen Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung).

#### 2.1.4.2.5 Itemschwierigkeit

Insgesamt sind mit den in der nachfolgenden Tabelle genannten Items bzw. Subskalen 122 Punkte zu erreichen. Summiert man nun die erreichten Punkte und dividiert diese durch die Gesamtpunktzahl, erhält man den Punktescore.

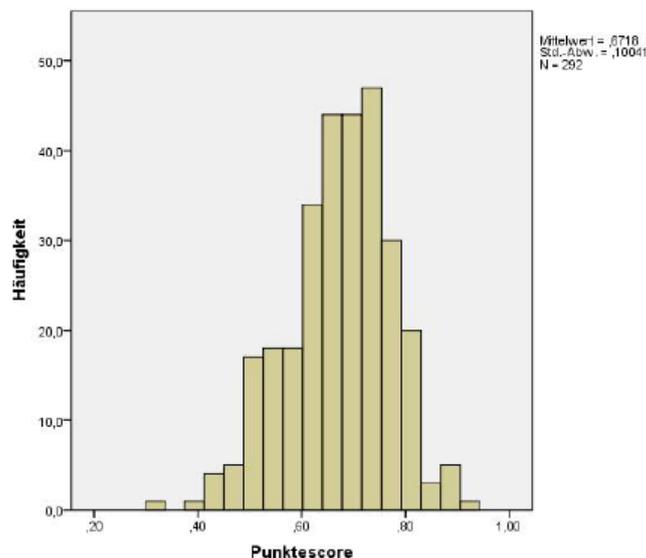


Abbildung 11: Punktescore (n=292, MW = .6718, Std.-Abw. = 0,10041)

Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
.32	.91	.6718	.10041

Tabelle 10: Deskriptive Statistik der Punktescore

Die Lösungsschwierigkeit liegt zwischen 32% (leistungsschwächster Schüler) und 91% (leistungsstärkster Schüler) der zu erzielenden Punkte. Im Mittel wurden 67,18 % der Gesamtpunkte erreicht. Die Verteilung des Punktescore ähnelt – wie der Abbildung zu entnehmen – einer im Mittelwert nach rechts verschobenen Normalverteilung.

#### 2.1.4.2.6 Trennschärfe

In diesem Abschnitt wird untersucht, wie trennscharf einzelne Items sind. Insbesondere die Subskalen wurden hierfür gebildet, da eine Faktorenanalyse mit binären Items nicht möglich ist.

Die Reliabilität über alle Items liegt bei 0,929. Insgesamt sind 69 Items in der Auswertung. Die Items 1A.01 und 1A.03 konnten aufgrund einer zu kleinen Varianz nicht mit in die Auswertung aufgenommen werden. Bei folgenden zwölf Items zeigten sich Schwierigkeiten bezüglich der Trennschärfe: Insbesondere bei Trennschärfen im stark negativen Bereich (z.B. 2A.08) sollte überprüft werden, ob das Item klar genug formuliert ist. Des Weiteren folgt eine Untersuchung von Reliabilität und Trennschärfen bei der Bewertung der einzelnen Skalen Hypothese (H), Experiment (E) und Schlussfolgerung (S).

Item	Trennschärfe
1A.02	-0.047
1B.01	0.042
1B.02	-0.101
1C.03	-0.102
1C.04	0.066
2A.01	-0.134
2A.06	-0.114
2A.07	-0.160
2A.08	-0.306
5.05	-0.085
5.06	-0.085
7.01	-0.126

Tabelle 11: Trennschärfe einzelner ausgesuchter Items

Skala	Cronbach's Alpha
Hypothese	0,936
Experiment	0,626
Schlussfolgerung	0,540

Tabelle 12: Reliabilität der Items (ohne Subskalen)

Die internen Konsistenzen der Skalen bleiben gleich bzw. erhöhen sich zum Teil. Insbesondere die Skala Hypothese (H) ist beinahe doppelt so hoch. Dies kann darin begründet sein, dass eine höhere Itemzahl in der Berechnung enthalten ist.

Item	Trennschärfe
5.05	0,062
5.06	0,062
7.01	-0,059

Tabelle 13: Trennschärfe einzelner ausgesuchter Items, Skala Hypothese

Item	Trennschärfe
1A.01	-0.059
1A.02	0.025
1A.03	0.099
1B.01	-0.006
2A.01	0.077
2A.04	-0.043
2A.07	0.042
2A.08	0.058

Tabelle 14: Trennschärfe einzelner ausgesuchter Items, Skala Schlussfolgerung

Für die Skala Experiment (E) sind alle bildenden Items trennscharf mit einem Wert von mindestens 0,3. Insgesamt sind mit den in Tabelle 13 genannten Items 132 Punkte zu erreichen. Dies sind mehr als mit der Bildung von Subskalen, da bei diesen eine andere Gewichtung erfolgt. Summiert man nun die erreichten Punkte und dividiert diese durch die Gesamtpunktzahl, erhält man den Punktescore.

Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
.38	.92	.7267	.08140

Tabelle 15: Deskriptive Statistik des Punktescore (ohne Subskalen)

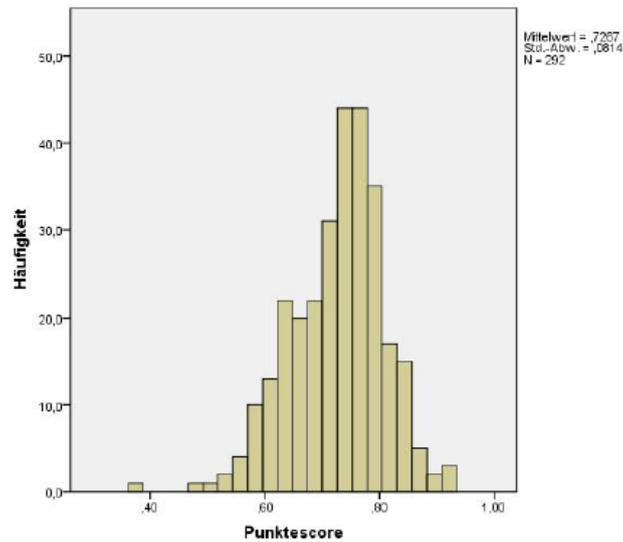


Abbildung 12: Punktescore ( $n=292$ ,  $MW = 0,7267$ ,  $Std.-Abw. = ,814$ )

Die Lösungsschwierigkeit liegt zwischen 38 % und 92 %. Im Mittel wurden 72,67 % der Gesamtpunkte erzielt und somit mehr als bei einer Berechnung mit den Subskalen. Die Verteilung des Punktescore ähnelt ebenso einer im Mittelwert nach rechts verschobenen Normalverteilung.

## 2.2 Messinstrumente zur motivationalen Begleitforschung

Ein Anliegen der Studie ist die Erforschung der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung im Hinblick auf motivationale Effekte auf Basis des kognitiv-motivationalen Prozessmodells (VOLLMEYER & RHEINBERG 1998).

„Im kognitiv-motivationalen Prozessmodell des Lernens wird angenommen, dass der Lernerfolg von der Qualität und der Dauer ausgeführter Lernaktivitäten, aber auch vom Funktionszustand des Lerners während der Lernphase abhängt. Es wird vermutet, dass eine von mehreren Variablen des Funktionszustandes der Flow-Zustand während des Lernens ist. In einer Untersuchung zeigte sich in der Tat, das Flow-Erleben während des Unterrichts die späteren Lernleistungen auch dann vorhersagt, wenn der Leistungseffekt relevanter Kompetenzvariablen vorweg berücksichtigt wird. Gemäß dem kognitiv-motivationalen Prozessmodell wird Flow-Erleben seinerseits über die aktuelle Motivation vor der Lernphase vorhergesagt, wobei diese wiederum von einer allgemeineren Motivationsvariablen zu Beginn abhängt“ (ENGESER, RHEINBERG, VOLLMEYER & BISCHOFF 2005 S.159).

Kurzum: Motivation wird nicht als abhängige Variable betrachtet, sondern als eine den Lernerfolg erklärende Variable. Das kognitiv-motivationale Prozessmodell geht nicht von einer direkten Beziehung zwischen der Motivation (z.B. vor Ableistung einer Lehr-Lern-Umgebung) und der tatsächlich erbrachten Leistung aus. Vielmehr werden den kognitiven und motivationalen Mediatorvariablen aus folgenden Gründen die größte Bedeutung beigemessen: Einerseits schlägt sich die aktuelle Motivation vor Ableistung der Aufgabe auf die Mediatorvariablen nieder, andererseits beeinflussen die Mediatorvariablen die Lernleistung.

Nachfolgend werden die Erhebungsinstrumente zur motivationalen Begleitforschung und deren Einsatzzeitpunkte während den Interventionen 1 bis 3 vorgestellt.

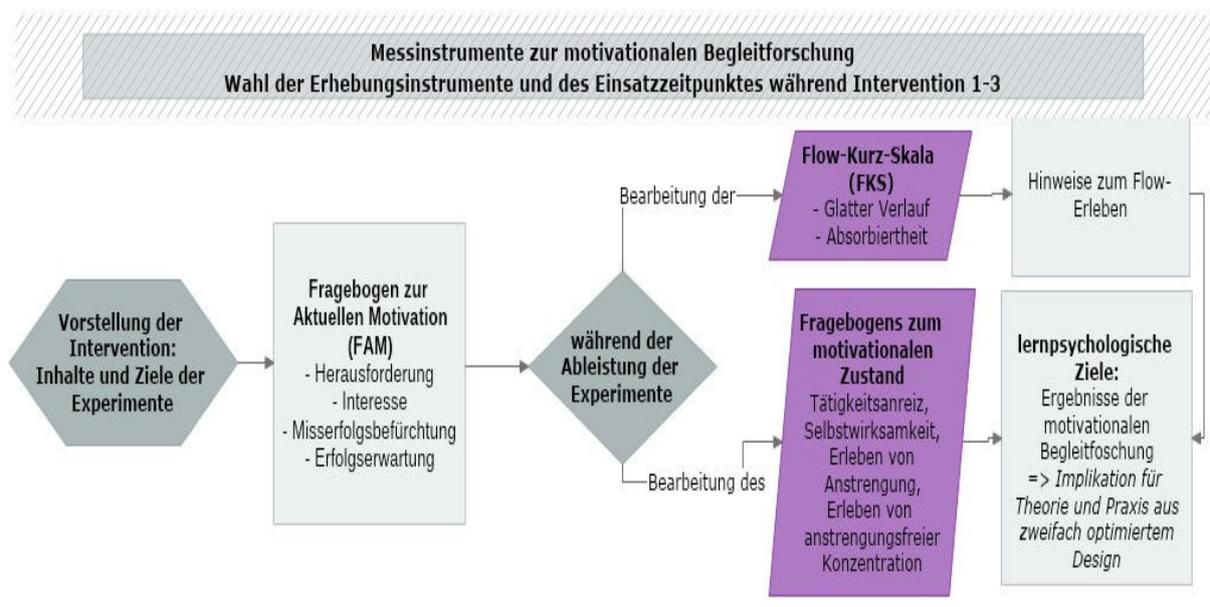


Abbildung 13: Messinstrumente zur motivationalen Begleitforschung und deren Einsatzzeitpunkte

### 2.2.1 Fragebogen zur Aktuellen Motivation (FAM)

Um die Qualität der Lernmotivation unter den Lernenden zu erfassen, wird das 18 Items umfassende Erhebungsinstrument „Fragebogen zur Aktuellen Motivation“ (FAM) unmittelbar vor Ableistung der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung den Studienteilnehmern vorgelegt (RHEINBERG, VOLLMEYER & BURNS 2001).

Während im Originalfragebogen von „Rätseln und Knobeleyen“ oder von „Aufgaben“ (RHEINBERG, VOLLMEYER & BURNS 2001, S.17) die Rede ist, wurden in der Fassung für die vorliegende Studie die beiden Schlüsselwörter kontextabhängig durch „Experimente und Experimentieren“ bzw. „Experiment“ oder „Experimentieren“ substituiert.

Nach wie vor können – wie im Originalfragebogen – die unten aufgeführten Items folgenden Bereichen zugeordnet werden (RHEINBERG, VOLLMEYER & BURNS 2001 S.1-17):

- Zuordnung der Items 2,3,13 und 14 dem Bereich Erfolgswahrscheinlichkeit (E)
- Zuordnung der Items 5,9,12,16 und 18 dem Bereich Misserfolgsbefürchtung (M)
- Zuordnung der Items 1,4,7,11 und 17 dem Bereich Interesse (I)
- Zuordnung der Items 6,8,10 und 15 dem Bereich Herausforderung (H).

Aufgrund der Verneinungsformulierung sind die Items 3 und 14 negativ gepolt.

Nach Vorlage des Fragebogens zur Aktuellen Motivation (FAM) wird in der Studie ebenfalls eine 7-stufige Skala („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“) verwendet (RHEINBERG, VOLLMEYER & BURNS 2001).

### 3. Fragebogen zur Aktuellen Motivation (FAM)

Fakultät für Angewandte Informatik  
 Lehrstuhl für Didaktik der Geographie  
 Prof. Dr. Ulrike Ohl / Isabel Hörmann



#### Fragebogen

#### Naturwissenschaftliches Experimentieren im Geographieunterricht – motivationale Begleitforschung

Tragen Sie in das nachstehende Kästchen ihre Initialen und die ersten beiden Ziffern ihres Geburtsdatums sowie ihr Geschlecht und Alter ein:

(z.B. Thomas Holmes, 06.01.1999 → TH06-m-16; Lisa Müller, 12.11.2000 → LM12-w-14)

1. Kreuzen Sie die für Sie zutreffende Antwort an.	Trifft zu							Trifft nicht zu
	1	2	3	4	5	6	7	
01. Ich mag Experimente und das Experimentieren an sich.	<input type="checkbox"/>							
02. Ich glaube, der Schwierigkeit der Experimente gewachsen zu sein.	<input type="checkbox"/>							
03. Wahrscheinlich werde ich die Experimente nicht schaffen.	<input type="checkbox"/>							
04. Bei experimentellen Aufgaben mag ich es, die Lösung auszutüfteln.	<input type="checkbox"/>							
05. Ich fühle mich unter Druck, bei Experimenten gut abschneiden zu müssen.	<input type="checkbox"/>							
06. Experimente sind eine richtige Herausforderung für mich.	<input type="checkbox"/>							
07. Nach dem Lesen der Anleitung erscheinen mir diese Experimente sehr interessant.	<input type="checkbox"/>							
08. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	<input type="checkbox"/>							
09. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich beim Experimentieren blamieren könnte.	<input type="checkbox"/>							
10. Ich bin festentschlossen, mich bei den Experimenten voll anzustrengen.	<input type="checkbox"/>							
11. Bei Experimenten wie diesen brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	<input type="checkbox"/>							
12. Es ist mir etwas peinlich, hier beim Experimentieren zu versagen.	<input type="checkbox"/>							
13. Ich glaube, das Experiment kann jeder schaffen.	<input type="checkbox"/>							
14. Ich glaube, ich schaffe die Experimentiererei nicht	<input type="checkbox"/>							
15. Wenn ich das Experiment schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.	<input type="checkbox"/>							
16. Wenn ich an die weiteren Experimente denke, bin ich etwas beunruhigt.	<input type="checkbox"/>							
17. Solche Experimente würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	<input type="checkbox"/>							
18. Die konkreten Leistungsanforderungen des Experiments lähmen mich.	<input type="checkbox"/>							

Vielen Dank für die Beantwortung des Fragebogens! ☺

Abbildung 14: Fragebogen zur Aktuellen Motivation (FAM) - siehe Anhang S. 233



2. Was empfinden Sie momentan? Kreuzen Sie die für Sie zutreffende Antwort an.	1	2	3	4	5	6	7
01. Die Aufgabe macht mir noch Spaß.	<input type="checkbox"/>						
02. Ich bin sicher, die richtige Lösung zu finden.	<input type="checkbox"/>						
03. Ich habe keinerlei Schwierigkeiten, meine Gedanken beisammen zu halten.	<input type="checkbox"/>						
04. Ich finde die Aufgabe anstrengend.	<input type="checkbox"/>						
05. Mir ist klar, wie ich weiter vorgehen soll.	<input type="checkbox"/>						

Abbildung 15: Fragebogen zur Flow-Kurz-Skala und zur Erfassung des motivationalen Zustands - siehe Anhang S. 234

### 2.2.3 Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes

Der Fragebogen zur „Erfassung des motivationalen Zustandes“ (VOLLMEYER & RHEINBERG 1998 S.16) setzt sich aus fünf Items zusammen. Dabei geben die Items Auskunft zum

- aktuellen Tätigkeitsanreiz (Item 1),
- Aspekt der Selbstwirksamkeit (Item 2 und 5),
- Erleben anstrengungsfreier Konzentration (Item 3)
- Erleben von Anstrengung (Item 4).

Auch hier sind alle fünf Items mittels einer 7-stufigen Antwortskala („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“) zu bearbeiten.

Die Auswertung der Flow-Kurz-Skala und des Fragebogens zur Erfassung des motivationalen Zustandes erfolgt analog dem Verfahren zum Fragebogen zur Aktuellen Motivation.

Dabei gilt für die Interventionsphasen I mit III für beide Erhebungsinstrumente:

1. Bestimmung des Mittelwerts (MW) und der Standardabweichung  $\sigma$ .
2. Genaue Analyse der ermittelten Daten hinsichtlich des Flow-Erlebens anhand der Items zu den Bereichen Absorbiertheit und Glatter Verlauf sowie zu den unter 2.2.3 aufgelisteten Items (Auskunft zu aktuellem Tätigkeitsanreiz, Erleben von Selbstwirksamkeit, anstrengungsfreier Konzentration und dem Erleben von Anstrengung).
3. Vergleich der Ergebnisse von Intervention I zu Intervention II sowie von Intervention II zu Intervention III.
4. Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der lernpsychologischen Potentiale der Intervention
5. Ableiten von Schlüsselkriterien zur Optimierung der lernpsychologischen Wirksamkeit der situierten Lehr-Lern-Umgebung.

### **3. Das theoriebasierte Design der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung**

In diesem Abschnitt wird theoriebasiert die Entwicklung der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung behandelt. Dabei werden Hintergründe zur Zielsetzung und Wirksamkeit der Konzeption, zur Wahl der methodischen Großform des Experiments als auch zu den Anforderungen an eine experimentgestützte Lehr-Lern-Umgebung aus didaktisch-methodischer Perspektive beleuchtet, ehe die Vorstellung der auf Basis von identifizierten Denkfiguren entwickelten Experimente erfolgt.

#### **3.1 Fragestellungen zur Wirkung der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung**

Zunächst soll der Frage nachgegangen werden, welche Ziele mit dem Design einer derartigen experimentellen Lehr-Lern-Landschaft verfolgt werden.

Mit der experimentgestützten Lehr-Lern-Landschaft sollen

- bestmöglich Schülerfehlvorstellungen anschaulich beseitigt,
- bereits existierende Schülervorstellungen optimiert,
- inhaltsbezogenes Fachwissen vertieft und erweitert als auch
- naturwissenschaftliche Arbeitstechniken kompetenzfördernd nachhaltig vermittelt und erprobt werden.

Des Weiteren stellt sich die Frage, welche Auswirkungen die experimentelle Konzeption auf die Variablen Schülerleistung und Motivation besitzt.

Um die erste Teilfrage zu beantworten, soll mit Hilfe des Tests zur Erfassung von naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen der Erfolg bzw. die Wirksamkeit der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung geprüft werden.

Auskünfte zur motivationalen Wirkung der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung sollen mittels quantitativer (FAM, FKS, Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes) und qualitativer (zusammenfassendes Protokoll) Methodik erhalten werden.

Darüber hinaus soll die experimentgestützte Lehr-Lern-Landschaft im Entwicklungsprozess des Design-based Research Forschungsdesigns Freiheiten zulassen, welche die Variationen der Systemeigenschaften und Untersuchungsbedingungen betreffen.

In der nachfolgenden Abbildung werden die einzelnen Überlegungen zu „Entwicklung und Design der situierten Lehr-Lern-Umgebung“ skizziert. Dabei bilden Leitfragen zur Didaktischen Strukturierung und zu den Anforderungen an die einzelnen Experimente bei der theoriegeleiteten Entwicklung der experimentellen situierten Umgebung und den Begleitmaterialien die wesentlichen Kernelemente.

Ein wichtiges Kriterium hinsichtlich der anvisierten Ziele der experimentellen Intervention ist das Expertenrating durch Schüler und Lehrende.

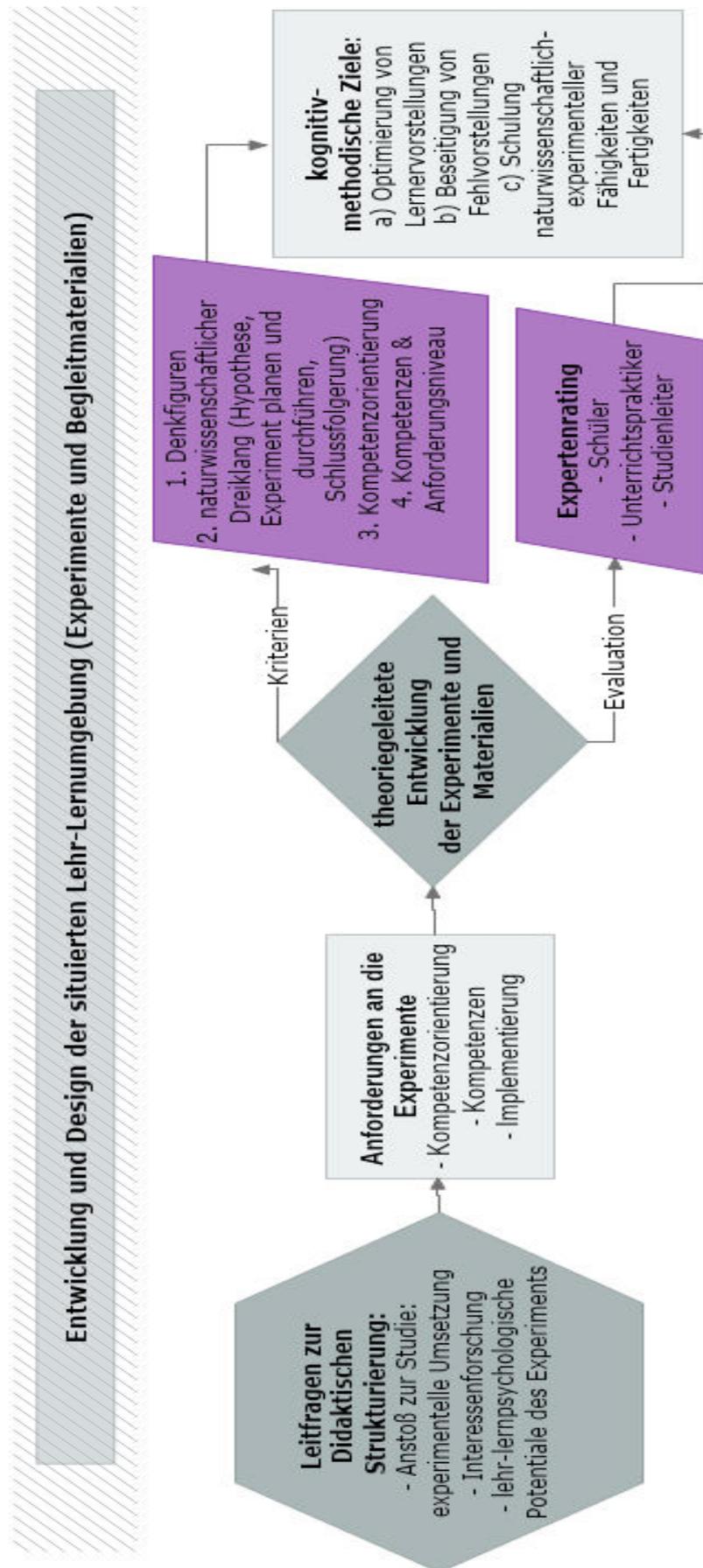


Abbildung 16: Architektur zur Entwicklung und zum Design der situierten Lehr-Lern-Umgebung

### 3.2 Die Wahl der methodischen Großform des Experiments – Impulse aus Forschung und Praxis

Das Ziel der Forschungsarbeit liegt in der theoriegeleiteten Entwicklung, Erprobung und Evaluation einer experimentellen Unterrichtskonzeption, die in der Lage ist, Fehlvorstellungen zu den Themen Strahlung und Ozon zu beseitigen.

Abgeschlossene Dissertationen, deren inhaltlicher Gegenstand sich der Identifizierung von fehlerhaften Schülervorstellungen zu bestimmten Themen widmete, bedienen sich methodischen Vorgehensweisen, die dem Erkennen derartiger Konzepte zweckdienlich sind, jedoch keinerlei Impulse für die Optimierung oder gar Beseitigung leisten.

Auch wenn von Seiten der Fachdidaktiken zahlreiche methodische Zugänge existieren, so fällt in dieser Studie die Wahl auf die methodische Großform des Experiments. Nachfolgend wird auf die Definition des Experiments in der Geographiedidaktik, auf die Klassifikation von Experimenten sowie auf das Kompetenzmodell des Experimentierens mit Blick auf den experimentellen Algorithmus eingegangen.

„Ein Experiment ist eine planmäßige, grundsätzlich wiederholbare Beobachtung von natürlichen und auch gesellschaftlichen Vorgängen unter künstlich hergestellten, möglichst veränderbaren Bedingungen. Es verfolgt den Zweck, durch Isolation, Kombination und Variation von Bedingungen eines Phänomens bzw. Objekts reproduzierbare und kontrollierbare Beobachtungen zu gewinnen, aus denen sich Regelmäßigkeiten und allgemeine Gesetzmäßigkeiten ableiten lassen“ (OTTO 2009 S.4).

Hinsichtlich der Klassifikation von Experimenten gibt es folgende Unterscheidungskriterien (vgl. MÖNTER & HOF 2012 S. 289-313):

- Geographisch-inhaltliche Aspekte: Entspricht die fachinhaltliche Grundlage des Experiments z.B. der statistischen Bevölkerungsgeographie oder der Geomorphologie, so ist dieses einem Themengebiet aus der Human- bzw. Physischen Geographie zuzuschreiben.
- Versuchsanordnung des Experiments: Es erfolgt eine Unterscheidung nach Natur- und Modellexperimenten.
- Didaktische Aspekte: Dient das Experiment als Hinführung zum Thema, so bezeichnet man dieses als ‚einführendes Experiment‘. Liegt der Didaktische Ort des Experimenteinsatzes in der Erarbeitungs- bzw. Sicherungsphase, so differenziert man nach ‚entdeckenden‘ bzw. ‚bestätigenden Experimenten‘.
- Methodische Aspekte: Man unterscheidet zwischen Demonstrations- und Schülerexperimenten. Während im Demonstrationsexperiment alle praktischen Experimentierphasen von der Lehrkraft übernommen werden, beschränkt sich die Rolle des Pädagogen bei Schülerexperimenten auf die Moderation des Unterrichtsgeschehens bzw. auf vorsichtige Hilfestellungen. Schülerexperimente orientieren sich am vollständig angeleiteten bis hin zum offenen Experimentieren.

In Ergänzung der genannten Aspekte lassen sich nach RINSCHÉDE (2005 S. 276) zwei weitere Gesichtspunkte anführen:

- Unterscheidung zwischen der Qualität des Experimentierens und der Experimentresultate: In Abhängigkeit von den methodischen Überlegungen sollte bedacht werden, inwiefern der experimentelle Algorithmus Arbeitsaufträge des reinen und zugleich strukturierten Beobachtens, des Untersuchens mit Hilfsmitteln, des Experimentierens, aber auch des Modellierens enthält. Diese vier Stufen gehen mit einer stärker werdenden Komplexität einher. Folglich müssen vorab genaue Entscheidungen fallen, ob das Experimentresultat auf quantitativen, qualitativen oder einem Mix von qualitativen-quantitativen gewonnenen Ergebnissen gestützt ist.
- Experimentierzeit: Ein weiteres Klassifikationsmerkmal des Experiments ist dessen Dauer. Man differenziert dabei zwischen Kurzzeit- und Langzeitexperimenten.

In der Geographiedidaktik referierten OTTO & MÖNTER (2017) und PETER (2014 S.29f. & 2017) mehrmals über den experimentellen Algorithmus. Sie skizzieren fünf Phasen der experimentellen Vorgehensweise:

- *Phase 1 – Problemfindung*: Die unterrichtliche Problemstellung entstammt dem Realraum. In diesem Schritt werden Fragestellungen entwickelt, die in den kommenden Phasen überprüft werden sollen.
- *Phase 2 – Planung des Experiments*: Mit der Planung des Experiments erfolgt der Wechsel vom Realraum in den Experimentierraum. Es werden Hypothesen formuliert und Überlegungen hinsichtlich der experimentellen Umsetzung getroffen.
- *Phase 3 – Durchführung des Experiments*: Die in Phase 2 gebildeten Hypothesen werden nun im Experiment überprüft. Dabei wird der akribischen Dokumentation der qualitativ sowie quantitativ gewonnenen Daten eine große Bedeutung beigemessen. Insbesondere der Experimentmodifikation (z.B. das Isolieren, Variieren und Kombinieren von Variablen) kommt bei der Untersuchung der Hypothesen eine entscheidende Rolle zu.
- *Phase 4 – Auswertung des Experiments*: Die Auswertungsphase knüpft direkt an die Durchführungsphase an. So werden die zu Beginn formulierten Hypothesen von Phase 2 auf Grundlage der qualitativ bzw. quantitativ gewonnenen Daten verifiziert oder auch falsifiziert. Tritt letzter Fall ein, so beginnt an dieser Stelle der experimentelle Algorithmus erneut bei Phase 1.
- *Phase 5 – Interpretation*: Während von Phase 1 zu Phase 2 ein Wechsel vom Real- in den Experimentierraum erfolgte, bezieht sich die Phase 5 erneut auf den Realraum. In einer abschließenden Reflexion setzt man sich mit der zu Beginn vorhandenen Problemstellung auseinander und diskutiert z.B. die Stärken und Schwächen des experimentellen Vorgehens sowie die Qualität des experimentell generierten Datensatzes.

Mehrere Studien verwendeten das Kompetenzentwicklungsmodell des Experimentierens nach HAMMANN (2004, S.196-203). Dabei erwies sich sein Modell in mehreren Studien als fundierte empirische Grundlage, die auch den Forschungsrahmen und die Fragestellung dieser Studie begleitet.

Daher sind die in der Dissertation designten Experimente an das bewährte Kompetenzentwicklungsmodell des Experimentierens nach Hammann angelehnt und bedienen dabei folgende Elemente:

- Die Beschreibung einer *Kompetenzstruktur* nach den Prozessvariablen ‚Hypothesenformulierung‘, ‚Experimentplanung und –durchführung‘ sowie ‚Schlussfolgerung‘.
- Die Beschreibung des *Experimentniveaus* nach den Prozessvariablen ‚Anforderungsbereich‘ (z.B. Reproduktion, Reorganisation, Transfer) und ‚Teilkompetenzen‘ (z.B. offenes, angeleitetes und strukturiertes Suchen im Hypothesenraum).
- Um die *Kompetenzentwicklung* beschreiben, analysieren und interpretieren zu können, werden personenbezogene Variablen in den Forschungsprozess eingebettet. Die Ergebnisse aus den kognitiven, methodischen, konzeptuellen und motivationalen Fragestellungen können die Qualitätsentwicklung und den Kompetenzerwerb begleiten oder gar fördern.

Am Beispiel fünf einschlägiger Impulse aus Forschung und Praxis soll nun die Verwendung des Experiments als inhaltliche Grundlage der Lehr-Lern-Umgebung eruiert werden.

1. Ausgangspunkt der vorliegenden Dissertation sind die oftmals erkannten Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler, die Themen rund um das Ozonloch vom Treibhauseffekt klar zu differenzieren. Weitere Arbeiten zur Untersuchung des Fachwissens und Vorstellungen zu den beteiligten Strahlungsarten ergaben zusätzliche Verwechslungstendenzen hinsichtlich des Vorkommens, der Eigenschaften und Wirkungen der jeweiligen Strahlungsart.

So leistete PARCHMANN (1997) durch ihren Vorschlag, eine experimentgestützte Lehr-Lern-Umgebung zum Inhalt zu entwerfen, einen ersten Impuls zur Verwendung der methodischen Großform des Experiments.

2. Studien nach HEMMER & HEMMER (1997A, 1997B), die sich inhaltlich mit der Untersuchung des Interesses von Lernenden an (geographischen) Arbeitsweisen und deren tatsächliche Implementierung im Unterricht auseinandersetzen, ergaben folgendes Bild: Zwar stehe die methodische Großform Experiment an oberster Stelle der Beliebtheitsskala, jedoch belegt diese nach ihrer Einsatzhäufigkeit unter 16 (Studie von 1995) bzw. 17 (Studie von 2005) möglichen, im Geographieunterricht verwendeten Arbeitsweisen, den vorletzten (1995) bzw. den 14. Platz (2005) (HEMMER & HEMMER 2010).

Folglich würde die experimentelle Umsetzung auf großes Interesse unter den Studienteilnehmern stoßen, während gleichzeitig eine Steigerung der Implementationshäufigkeit der methodischen Großform im Geographieunterricht erreicht wäre.

3. Erkenntnisse von Seiten der pädagogischen Psychologie über den Behaltwert von vermittelten Informationen in Abhängigkeit von der ausführenden Tätigkeit, sind dem nachfolgenden Diagramm zu entnehmen:

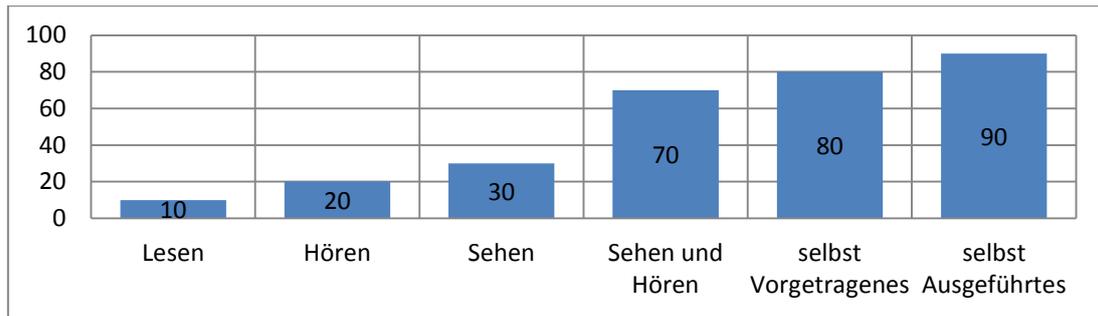


Abbildung 17: Behaltwert der vermittelten Information in [%] in Abhängigkeit von der ausgeführten Tätigkeit (eigener Entwurf nach SCHMIDTKE 1990 S.13)

Da selbstaufgeführte Tätigkeiten einen Behaltwert von 90% aufweisen, ist anzunehmen, dass die Auseinandersetzung mit der Thematik in Form einer Experimentierreihe die besten Ergebnisse erzielt.

4. MÖNTER UND HOF (2012 S.294) fassen die Vorzüge des Experiments im Geographieunterricht wie folgt zusammen:

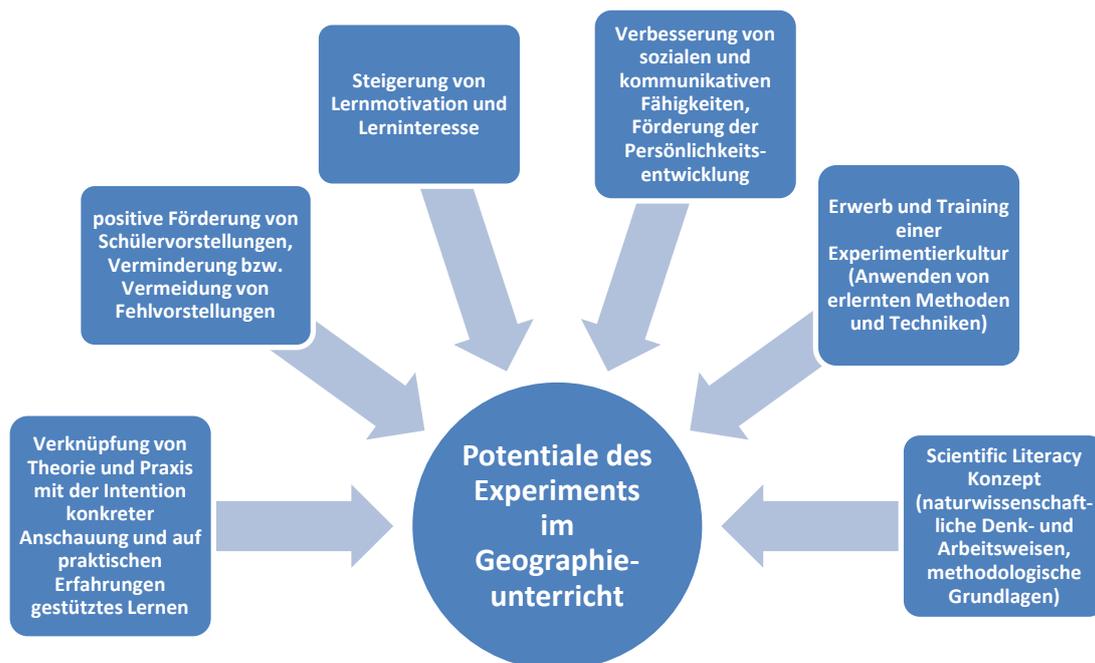


Abbildung 18: Potentiale des Experiments im Geographieunterricht (eigener Entwurf nach MÖNTER & HOF 2012, aus: HÖRMANN 2015 S. 62)

Auf Grundlage der oben stehenden Grafik sind die Potentiale der experimentellen Arbeitsweise deutlich erkennbar und besitzen eine hohe Relevanz für die vorliegende Studie wie z.B. die positive Förderung von Schülervorstellungen, die Verminderung bzw. Vermeidung von Fehlvorstellungen, Steigerung von Lernmotivation, Auseinandersetzung mit dem Scientific Literacy Konzept, der Erwerb und die sichere Beherrschung methodischer Arbeitstechniken (MÖNTER & HOF 2010).

5. PETER (2017 S.10-13) geht der Frage nach, welche Auswirkungen die Einflussfaktoren Alter, Leistungsstand, Vorwissen, methodische Darbietungsform und Öffnungsgrad auf das experimentelle Arbeiten besitzen. Unter Verwendung einschlägiger Studien (SWELLER 1988; MERGENDOLLER ET AL. 2006; LYNCH ET AL. 2005) zeichnet sich dabei ein ambivalentes Bild von der Wirksamkeit des Experimenteinsatzes ab:

Manche Beiträge deuten an, dass leistungsschwache Schüler im experimentellen Arbeiten eine Überforderung erfahren, andere wiederum sprechen von einem deutlichen Förderpotential durch das Experiment und somit der Stärkung der Schüler, deren Leistungsstand im unteren Drittel anzusiedeln ist. In weiteren Publikationen wird festgehalten, dass Alter, Vorwissen und Leistungsstand entweder einen großen oder einen geringen Einfluss auf Lernerfolge im Rahmen experimentellen Arbeitens besitzen. Ein ähnliches Muster lässt sich für die methodische Darbietungsform und den Öffnungsgrad des Experimentierens entnehmen. Insgesamt vermitteln die Studienergebnisse ein recht uneindeutiges Bild über die Einflussfaktoren und die damit verbundenen Wirkungen experimentellen Arbeitens.

Bei der Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung soll daher diskutiert werden, ob z.B. das Geschlecht der Interventionsteilnehmer sowie die erzielten Noten in den Unterrichtsfächern Geographie und Physik einen Einfluss auf die anvisierte Wissenserweiterung und die experimentellen Fähigkeiten besitzen.

Im Hinblick auf die Methodik, den Öffnungsgrad sowie die lernpsychologischen Fragestellungen sollen aus dem Forschungsprozess Kriterien generiert werden, die als grundlegende Gestaltungsmerkmale kompetenzorientierten, experimentellen Arbeitens herangezogen werden können.

### **3.3 Anforderungen an experimentgestützte Lehr-Lern-Umgebungen aus didaktisch-methodischer Perspektive**

Von den zahlreichen Vorzügen und Potentialen des Experiments im Geographieunterricht kann in erster Linie nur profitiert werden, wenn die experimentgestützte Lehr-Lern-Umgebung ausgewiesenen Anforderungen aus Theorie und Praxis genügt.

Um diese Kriterien zu erfüllen, müssen die von der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung abgesteckten Themengebiete klar erkennbar und abgedeckt sein.

Nachfolgend widmet sich dieser Abschnitt den Kriterien einer kompetenzorientierten Experimentierkultur nach MEHREN & UPHUES (2010), ausgewiesenen Kompetenzen nach dem Konzept der Nationalen Bildungsstandards der Geographie sowie den Ansprüchen einer Implementierung in die Unterrichtspraxis.

### 3.3.1 Kriterium Kompetenzorientierung

Rainer Mehren und Martina Mehren benennen in ihrem Beitrag folgende Aspekte als Bausteine eines kompetenzorientierten Unterrichts (UPHUES & MEHREN, 2010):



Abbildung 19: Bausteine kompetenzorientierten Unterrichts (eigener Entwurf nach MEHREN & UPHUES 2010)

Demzufolge sollte sich eine kompetenzorientierte, experimentgestützte Lehr-Lern-Umgebung auf sämtliche Bausteine beziehen. In der Konzeption sollten demnach möglichst schüleraktivierende, individuelle Befindlichkeiten berücksichtigende und die Metakognition fördernde Aufgaben mit klarer Zielsetzung (Outputorientierung) Verwendung finden. Kumulativität bedeutet in diesem Zusammenhang zum einen das fortwährende Implementieren einer experimentgestützten Situation über das Schuljahr hinweg, zum anderen die Zunahme des Schwierigkeitsgrades (Anforderungsbereich) der experimentellen Unterrichtssequenzen (MEHREN & UPHUES 2010).

In Bezug auf die vorliegende Studie nimmt der Baustein „kompetenzbezogene Diagnostik“ eine bedeutende Rolle ein: „Nur wenn das Lehrangebot mit dem Vorwissen des Lernenden korrespondiert, kann der Lernprozess an die Schülerin bzw. an den Schüler adaptiert und dadurch optimiert werden. Die zentrale Rolle der Lehrkraft aus lernpsychologischer Sicht ist daher, das jeweilige Angebot an die Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler anzupassen. Darunter wird selbstverständlich nicht nur das Vorwissen der Schülerin bzw. des Schülers gefasst, sondern auch ihre/seine Präkonzepte, ihre/seine Methodenkompetenz, ihr/sein Interesse etc. Die Anpassung des Lehrangebots an die Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler ist das Ziel des Ansatzes des sogenannten formativen Assessments, der lernprozessbezogenen Leistungserhebung“ (MEHREN & MEHREN 2015 S.70).

### 3.3.2 Kriterium Kompetenzen

Nach Weinert sind Kompetenzen „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (WEINERT 2001 S. 27f.).

Bezogen auf das Unterrichtsfach Geographie spielen Kompetenzbereiche eine wichtige Rolle. Dabei versteht man unter einem Kompetenzbereich verschiedene Teildimensionen eines Fachs bzw. eines Lernbereichs, in denen systematisch unterschiedliche Fähigkeiten erlernt werden. In der Geographie existieren die Kompetenzbereiche ‚Fachwissen‘, ‚räumliche Orientierung‘, ‚Erkenntnisgewinn/Methoden‘, ‚Kommunikation‘, ‚Beurteilung/Bewertung‘ und ‚Handlung‘ (DGFG 2012 S.10-29). Die in den sechs Kompetenzbereichen festgelegten Standards beschreiben die notwendige geographische Grundbildung, über die ein Schüler zum Zeitpunkt des mittleren Schulabschlusses verfügen sollte. Im Kompetenzbereich Fachwissen betrachtet man „die Erde als Mensch-Umwelt-System“ (DGFG 2012 S. 10-11), welches die Systemkomponenten Struktur, System und Prozess auf unterschiedlichen Maßstabsebenen (lokal, regional, national, international und global) umfasst. Die Unterteilung nach Systemkomponenten und unterschiedlichen Maßstabsebenen soll den Lernenden kumulatives Lernen erleichtern sowie ein zusätzlicher Kompetenzerwerb auf Grundlage des Fachwissens in den weiteren Kompetenzbereichen ermöglichen. Kompetenzorientierte Aufgaben entstammen gesellschaftlichen und alltagsrelevanten Kontexten und bieten Anknüpfungspunkte für fächerübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten (vgl. HÖRMANN 2017A & 2017B).

Jeder einzelne Kompetenzbereich ist über unterschiedliche Anforderungsniveaus, sogenannte Kompetenzstufen, ausgewiesen. So kann man an den Operatoren in der Fragestellung einer Aufgabe ablesen, ob Reproduktionswissen (Anforderungsniveau 1), Reorganisationswissen (Anforderungsniveau 2) oder Transferwissen (Anforderungsniveau 3) bei der Lösung abgeprüft wird.

### 3.3.3 Kriterium Implementierung

Selbst wenn das Design der experimentellen Lehr-Lern-Umgebung sämtlichen Anforderungen der didaktisch-methodischen Forschung (z.B. Kompetenzorientierung, Kompetenzbereiche einschließlich Anforderungsniveau) entspricht, so ist deren Eignung für die Unterrichtspraxis noch lange nicht gegeben.

Von Seiten der Unterrichtspraktiker sollte nach GERSTENMAIER & MANDEL (1995) eine Implementierung derartiger Konzeptionen erst erfolgen, insofern ‚authentische Situationen abgebildet‘, ‚multiple Perspektiven und Kontexte‘ inhaltsbezogen aufgenommen sind und die ‚aktive Auseinandersetzung‘ im Experiment ‚soziale Zusammenhänge‘ bereitstellt. Gleichzeitig sollte die Lehr-Lern-Landschaft ‚kognitiv aktivierende Prozesse‘ auslösen und begleiten als auch ‚Freiheitsgrade anbieten‘, die – gerade nach dem Forschungsdesign des Design-based Research – Optimierungen erlauben (GERSTENMAIER & MANDEL 1995 S. 867-888).

In der Entwurfsphase der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung sollten organisatorisch-finanzielle Überlegungen überdacht sein, wie z.B. die Verfügbarkeit der Materialien (Überprüfen des Gerätschaften- und Materialbestands der Physik- und Chemiesammlung) und die Handhabung der Experimentsets und Gerätschaften durch Lehrkräfte (welche nicht über die Fakultas Physik oder Chemie verfügen). Da die der Studie zugrundeliegenden Unterrichtsentwürfe mehr dem Charakter von Schüler- anstelle von Demonstrationsexperimenten entsprechen, müssen diese stets den Anforderungen der gültigen Sicherheitsrichtlinien unterliegen.

### **3.4 Theoriegeleitete Entwicklung der Experimente und Materialien auf Basis von identifizierten Denkfiguren**

In diesem Absatz wird die theoriegeleitete Entwicklung der Experimentierumgebung mitsamt den dazugehörigen Begleitmaterialien aufgearbeitet. Die einzelnen Experimente sollen geeignet sein, bereits identifizierte, fehlerhafte Schülervorstellungen inhaltlich aufzugreifen und diese zu verbessern. Dabei leisten Überlegungen zur naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz (z.B. Schwerpunkt der experimentellen Anordnung hinsichtlich Hypothesenbildung, Aufbau und Durchführung des Experiments zur Überprüfung der Hypothese, Schlussfolgerung), zum Kompetenzbereich (einschließlich Anforderungsniveau) sowie zu kompetenzorientierten Bausteinen einen wichtigen Beitrag zum Design der experimentellen Konzeption.

Allen Experimenten und Begleitmaterialien liegt ein ähnliches Schema zu Grunde: Aus der Überschrift der Anleitung bzw. des Arbeitsblattes sind Titel, Inhalt und Zielsetzung des Experiments zu entnehmen. In der Regel folgt eine Übersicht an Versuchsmaterialien, Hinweise zur Handhabung der Experimentiersets, kurze Informationstexte, u.a. Die Aufgabenkonzeption verlangt Beiträge zur Hypothesenbildung, zur Planung und Durchführung des Experiments sowie zur Schlussfolgerung (*siehe Anhang Intervention 1 bis 3, S. 235-271*).

#### **3.4.1 Experiment 1 – Untersuchung der Energie und der Wärmewirkung von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung (*siehe S. 236/246-247/258-259; 272-273*)**

##### Inhalt und Zielsetzung des Experiments

Inhaltlich behandelt das Experiment die Untersuchung der Energieeigenschaften und Wärmewirkung der Strahlungsarten UV, VIS und IR. Dabei soll von den Schülerinnen und Schülern zunächst unter Berücksichtigung der bereitgestellten Materialien eine mögliche Versuchsvariante geplant und schriftlich skizziert werden, die den Nachweis über Energie- und Wärmewirkungseigenschaften der einzelnen Strahlungsarten erbringt. Unter identischen Versuchsbedingungen wird in arbeitsteiligen Kleingruppen das Experiment durchgeführt, wobei der fortwährenden Messung und der Übertragung der experimentell ermittelten Werte in t-T-Diagramme eine besondere Bedeutung zukommt. So werden die Schülerinnen und Schüler kontinuierlich nicht nur in die naturwissenschaftlichen Arbeitsschritte des Planens und Durchführens eines Experiments involviert, sondern auch der

Vergleich der einzelnen, während der Messung erstellten Diagramme, erlaubt schnelle und eindeutige Rückschlüsse auf die Wärmewirkung der jeweiligen Strahlungsart (Schlussfolgerung). Hinsichtlich der Energieeigenschaften ist beim Vergleich der drei t-T-Diagramme noch keine Beurteilung möglich. Dieser Aspekt ist bewusst gewählt, denn „im Gegensatz zur Wärmestrahlung und zum sichtbaren Licht besitzt der Mensch kein Warnsystem, das ihn bei zu starker UV-Bestrahlung rechtzeitig alarmieren könnte“ (MEFFERT & MEFFERT 2000 S.100).

Das erste Experiment liefert eindeutige Erkenntnisse (Wärmewirkung von IR>VIS>UV) und erscheint zunächst die Tendenz zu besitzen, die Lernenden eher zu unter- als zu überfordern. Allerdings zeigen der hohe Tätigkeitsanreiz während des Experiments, die klare Handhabung der Materialien und die eindeutigen Ergebnisse der schüleraktivierenden Aufgabenkultur eine solide, für alle zu bewältigende Ausgangsbasis für weitere Experimente in dieser Lehr-Lern-Landschaft.

### Lernervorstellungen

Das Experiment tangiert bzw. orientiert sich an folgenden Lernervorstellungen:

1. „Mehr UV-Strahlen gelangen durch die Ozonlöcher. UV-Strahlen sind heißer als Wärmestrahlen“ (BOYES & STANISSTREET 1997)
2. „UV-, Licht- und Wärmestrahlen sind gleich“ (KOULADIS & CHRISTIDOU 1999; ÖSTERLIND 2005; LIBARKIN ET AL. 2011)
3. „UV-Strahlung ist unsichtbar und eine energiereiche elektromagnetische Welle“ (LIBARKIN ET AL. 2011)
4. „Sonnenstrahlen kommen durch Löcher in der Ozonschicht zur Erde hindurch und erwärmen sie“ (BOYES & STANISSTREET 1992, 1993, 1997; DOVE 1996; SCHULER 2005; ÖSTERLIND 2005; TABER & TAYLOR 2009)

### Kriterium naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz

Der Versuch umfasst nicht nur die Planung und Durchführung eines Experiments, sondern auch die Schlussfolgerung aus den gewonnenen Messwerten und deren graphische Umsetzung im t-T-Diagramm.

### Kriterium Bausteine der Kompetenzorientierung

#### 1. Schüleraktivierende Aufgabenkultur

Die schüleraktivierende Handlungs- und Tätigkeitsaufforderung besteht während der Phasen der Planung, Durchführung und Auswertung des Experiments. Dabei erstreckt sich das methodische Repertoire nicht nur auf die idealtypischen naturwissenschaftlichen Arbeitsschritte, sondern auch auf deren graphische Darstellung und Interpretation.

#### 2. Förderung der Metakognition

Das Experiment umfasst die strategischen Aktivitäten der Planung, Überwachung, Bewertung und Regulation des eigenen Lernprozesses. Durch die Reflexion des eigenen Lernprozesses, der

Experimentierergebnisse und der unterschiedlichen Strategien können die metakognitiven Kompetenzen gefördert werden. Exemplarisch zeigt die nachfolgende Experimentbeschreibung Beispiele für die Förderung der Metakognition:

Eine Temperaturveränderung am Thermometer ist durch die Bestrahlung mit der IR- und VIS-Lampe eindeutig erkennbar. Eine identische Versuchsdurchführung mit der UV-Lampe liefert keinerlei Temperaturveränderungen. Folglich wird von den Schülerinnen und Schülern vermutet, dass die Strahlung mit der größten thermischen Wirkung auch die größte Energie und somit auch das stärkste Schädigungspotential besitzt. Im weiteren Verlauf der Experimentieranordnung wird sich dieses Bild jedoch neu zeichnen.

### 3. Outputorientierung

Sowohl der Überschrift des Arbeitsblattes als auch der Aufgabenkultur des Experiments sind Inhalte und präzise formulierte Zielvorgaben zu entnehmen.

### 4. Kumulativität

In der Beschreibung des Experiments wird der Vorschlag einer arbeitsteiligen Gruppenarbeit unterbreitet. Es bietet sich an, zunächst die Wärmewirkungen der einzelnen Strahlungsquellen zu untersuchen, ehe man sich der komplizierteren Energiemessung zuwendet. In diesem Versuch werden grundlegende Eigenschaften der drei Strahlungsarten vorgestellt, diese in weiteren Experimenten erneut aufgegriffen und in abgeänderter, anspruchsvollerer Aufgabenstellung unter anderen Gesichtspunkten weiter untersucht bzw. integriert.

### 5. Kompetenzorientierte Diagnostik

Die klare Orientierung des Experiments an identifizierten Schülervorstellungen als Anknüpfungspunkt ermöglicht das individuelle Aufgreifen von fachlich korrekten Konzepten (Verstärken von Vorwissen) sowie die Optimierung von fehlerbehafteten Präkonzepten. Dabei steht nicht nur die Leistungsüberprüfung im Vordergrund, sondern auch die empirisch begleitete Kontrolle von bewusst genutzten Teilkompetenzen und Techniken experimentellen Arbeitens zur Bewältigung der Aufgabenstellung. So werden Rückschlüsse gezogen, wie z.B. das Design der Lehr-Lern-Umgebung an die identifizierten Schülervorstellungen und die registrierten fachlichen und methodischen Kompetenzen angepasst werden sollte. Neben den gezielten Beobachtungsaufträgen dienen die Antworten aus den Begleitmaterialien und des NAW-Tests als weitere diagnostische Rückmeldungen.

### 6. Individuelle Förderung

Als Einstiegsexperiment ist die Konzeption geeignet, da bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung in Selbstorganisation weder Überforderungs- noch Unterforderungstendenzen unter den Lernenden feststellbar sind und von jedem Studienteilnehmer das anvisierte Lernziel erreicht werden kann.

Kriterium Kompetenzbereiche (VGL. HÖRMANN 2017B S.23)

Kompetenz	Wird erfüllt durch...
Fachwissen	Die Schülerinnen und Schüler kennen die thermischen und energetischen Eigenschaften von UV-, VIS- und IR-Strahlung und können deren zeitlichen Verlauf beschreiben. Dabei können die Schülerinnen und Schüler auf Grundlage der Messergebnisse Zusammenhänge erkennen und erläutern.
Erkenntnisgewinnung	Die Schülerinnen und Schüler können (naturwissenschaftliche) Fachmethoden bei der Planung und Durchführung des Experiments problemangemessen anwenden und Erkenntniswege bzw. gewonnene Erkenntnisse reflektieren.
Kommunikation	Die Schülerinnen und Schüler können Sachverhalte zu thermischen und energetischen Eigenschaften der drei am Experiment beteiligten Strahlungsarten unter Verwendung von Fachsprache wiedergeben, sich über Probleme während des Experimentierens austauschen, wie auch graphische Darstellungen zu den gewonnenen Messwerten verbalisieren, vergleichen und interpretieren.
Beurteilung/Bewertung	Die Schülerinnen und Schüler können Kriterien und geophysikalische Kenntnisse bei der Beurteilung bzw. der Überprüfung der im Experiment nachzuweisenden Eigenschaften anwenden.
Handlung	Die Schülerinnen und Schüler können mögliche Experimentiervariationen erläutern und vergleichen sowie weitere Handlungsschritte begründen und reflektieren.

**3.4.2 Experiment 2 – UV-Strahlung: Wirkung auf organische Körper und Schutzkonzepte (siehe Anhang S. 237/248-249/260-261; 274-275)**Inhalt und Zielsetzung des Experiments

In diesem Experiment soll ermittelt werden, welche Wirkung UV-Strahlung auf organische Körper besitzt und wie man sich vor der energiereichen Strahlung am besten schützen kann.

Ehe man sich dem eigentlichen Experiment widmet, werden die Lernenden mit einem Zitat aus einem wissenschaftlichen Artikel und einem jüngst in ‚Die Welt‘ erschienenen Beitrag konfrontiert. So wird ins Bewusstsein gerufen, dass der Mensch (bzw. organische Körper) kein Warnsystem vor der gefährlichen UV-Strahlung besitzt und die Anzahl der an Hautkrebs erkrankten Menschen in Deutschland sich in den vergangenen 10 Jahren drastisch erhöhte.

Unter Verwendung genannter Materialien soll von den Schülerinnen und Schülern ein Experiment geplant und aufgebaut werden, welches sowohl die Wirkung von UV-Strahlung als auch mögliche Schutzmaßnahmen demonstriert. Hierbei sollen in Form von Hypothesen mögliche Versuchsvarianten vorab formuliert und Vermutungen hinsichtlich möglicher Veränderungen am organischen Probekörper durch die UV-Strahlung angegeben werden. Im Anschluss an die Versuchsdurchführung (UV-Bestrahlung des organischen Materials) wird zum einen ein Vergleich vom Zustand des organischen Körpers vor und nach der Bestrahlung gezogen und zum anderen die vor der Bestrahlung vermutete mögliche Veränderung des Zustandes mit dem tatsächlichen reflektiert.

Mit Hilfe einer impulsgebenden Abbildung (eine der Sonne exponierten Menschengestalt) und den im Experiment gewonnenen Erkenntnissen sollen Schutzkonzepte vor UV-Strahlung notiert werden. Eine abschließende Betrachtung der bestrahlten Versuchsmaterialien nach einer Ruhephase von einer Stunde, regt zum Nachdenken über die schädigende Wirkung von UV-Strahlung an.

Wie das vorangegangene Experiment zeichnet sich das eben beschriebene durch hohe Handlungs- und Tätigkeitsanreize aus. Auch die aus der Realität stammende Thematik besitzt eine enorme Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung für die Schülerinnen und Schüler. Die zahlreichen Abänderungsmöglichkeiten des Versuchsaufbaus (z.B. Verwendung von unterschiedlichen organischen Körpern und Schutzmaterialien, Variation der Bestrahlungsdauer und des Abstandes zwischen UV-Lichtquelle und Probekörper), das hohe Maß an Selbstorganisation als auch die Anschaulichkeit des Experiments und der gewonnenen Ergebnisse, zeichnen diesen Versuch besonders aus.

### Lernervorstellungen

Das Experiment tangiert bzw. orientiert sich an folgenden Lernervorstellungen:

1. „UV-Strahlen sind heißer als Wärmestrahlen“ (BOYES & STANISSTREET 1997)
2. „UV-, Licht- und Wärmestrahlen sind gleich“ (KOULADIS & CHRISTIDOU 1999; ÖSTERLIND 2005; LIBARKIN ET AL. 2011)
3. „UV-Strahlung ist unsichtbar und eine energiereiche elektromagnetische Welle“ (LIBARKIN ET AL. 2011)
4. „Menschen tragen Sonnenschutzmittel an sonnigen Tagen wegen der UV-Strahlung auf die Haut auf“, „Zusammenhang von UV-Strahlung mit Sonnenbrand und Hautkrebs, mögliche Schutzmaßnahmen“ (LIBARKIN ET AL 2011; SUPING 2004; LEIGHTON & BISANZ 2003)
5. „UV-Strahlung kommt von der Sonne, die Sonne ist die einzige Quelle von UV-Strahlung“ (LIBARKIN ET AL. 2011)
6. „Zusammenhang: dünnere Ozonschicht bedeutet mehr UV-Strahlung auf der Erde und somit ein höheres Hautkrebsrisiko“ (BOYES & STANISSTREET 1998; LEIGHTON & BISANZ 2003; BOYES, STANISSTREET & PAPANTONIOU 1999)

### Kriterium naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz

Das Experiment umschließt die naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenzen der Hypothesenbildung, Planung und Durchführung sowie die Schlussfolgerung auf Basis der veränderten organischen Versuchsobjekte.

### Kriterium Bausteine der Kompetenzorientierung

#### 1. Schüleraktivierende Aufgabenkultur

Die schüleraktivierende Handlungs- und Tätigkeitsaufforderung besteht während der Phasen der Hypothesenbildung, Planung und Durchführung des Experiments als auch der Auswertung der experimentell gewonnenen Ergebnisse. Dabei erstreckt sich das methodische Repertoire nicht nur auf die idealtypischen naturwissenschaftlichen Arbeitsschritte, sondern auch auf die Beurteilung der Experimentieranordnung mit Blick auf dessen Wirksamkeit und Effektivität.

#### 2. Förderung der Metakognition

Das Experiment umfasst die strategischen Aktivitäten der Planung, Überwachung, Bewertung und Regulation des eigenen Lernprozesses. Durch die Reflexion des eigenen Lernprozesses, der Experimentiererergebnisse und der unterschiedlichen Strategien können die metakognitiven Kompetenzen gefördert werden. Exemplarisch zeigt die nachfolgende Experimentbeschreibung Beispiele für die Förderung der Metakognition:

Die Auswirkungen der 20-minütigen Bestrahlung mit UV-Licht auf die organischen Versuchsgegenstände und die deutliche Sichtbarkeit der einzelnen Schutzmaßnahmen zeigen klare Ergebnisse.

So dienen insbesondere die vorab getroffenen Überlegungen dazu, welche Schutzmaßnahme die geringste bis stärkste Veränderung am Bestrahlungsobjekt zulässt. Anschließend soll die eigene Einschätzung kritisch reflektiert und bisher getroffene Schutzmaßnahmen gerade im Hinblick auf deren Wirksamkeit kritisch hinterfragt werden.

Wenn auch der Anblick der bestrahlten Versuchsanordnung zunächst z.T. keine gravierenden Veränderungen erkennen lässt, so lohnt sich die erneute Betrachtung nach einer guten Stunde:

Die schädigende Wirkung der unsichtbaren, aber sehr energiereichen Strahlung am Apfel wird umso deutlicher, je länger man wartet. Übertragen in die Realität kann man festhalten, dass Hautkrebserkrankungen nicht unmittelbar nach einem Sonnenbad, sondern nach häufiger Exposition nach Jahren massiv auftreten können. Oftmals in der Literatur genannte Präkonzepte erwarten eine Erwärmung der UV-Strahlung exponierten Materialien. Das reine Berühren des erkennbar ausgetrockneten und z.T. gegerbten organischen Gegenstands, deutet hingegen auf keinerlei Erwärmung hin.

#### 3. Outputorientierung

Sowohl der Überschrift des Arbeitsblattes als auch der Aufgabenkultur des Experiments sind Inhalte und präzise formulierte Zielvorgaben zu entnehmen. Durch die gravierenden und augenscheinlichen

Ergebnisse des Versuchs wird die gefährliche, hautkrebsverursachende Wirkung der UV-Strahlung im Experiment klar abgebildet. Die Resultate des Experiments fördern Überlegungen hinsichtlich Schutzmaßnahmen vor UV-Strahlung.

#### 4. Kumulativität

Im ersten Experiment befasste man sich lediglich mit den Energieeigenschaften und der thermischen Wirkung der einzelnen Strahlungsarten. Sowohl die stärkere Involvierung der am Experiment beteiligten Schüler, als auch das Durchlaufen aller naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz-Schritte mit stets zunehmendem Schwierigkeitsgrad, betonen den kumulativen Charakter dieses Experiments.

#### 5. Kompetenzorientierte Diagnostik

*siehe Experiment 1*

#### 6. Individuelle Förderung

Einerseits ist die Zielsetzung des Experiments eindeutig formuliert, andererseits bietet das Experiment zahlreiche Variationen (in der Hypothesenbildung, Aufbau und Durchführung des Experiments, Interpretationszeitpunkte der augenscheinlichen Ergebnisse, Schlussfolgerungen im Sinne von Ratschlägen zum wirksamen Schutz vor UV-Strahlung), so dass schülergerecht die aktivierende, aus der Realität stammende Problemsituation zum Zwecke des Erreichens des Lernziels bearbeitet werden kann.

#### Kriterium Kompetenzbereiche (VGL. HÖRMANN 2017B S.23)

Kompetenz	Wird erfüllt durch...
Fachwissen	Die Schülerinnen und Schüler können UV-Strahlung als unsichtbare, sehr energiereiche elektro-magnetische Welle beschreiben und deren Auswirkungen auf organisches Material erklären. Dabei können die Schüler auf Grundlage der gewonnenen Beobachtungen Schutzkonzepte vor UV-Strahlung entwickeln und diese im Hinblick auf deren Wirksamkeit bewerten.
Erkenntnisgewinnung	Die Schülerinnen und Schüler können (naturwissenschaftliche) Fachmethoden bei der Hypothesenbildung, Planung und Durchführung des Experiments problemangemessen anwenden und Erkenntniswege bzw. gewonnene Erkenntnisse reflektieren. Dabei können die Schülerinnen und Schüler Versuchsvarianten entwickeln und weitere Lösungsstrategien vergleichend darlegen.
Kommunikation	Die Schülerinnen und Schüler können mögliche Auswirkungen von UV-Strahlung auf organische Körper nennen und Schutzmaßnahmen im Hinblick auf deren Effektivität vergleichen und erörtern.

Beurteilung/Bewertung	Die Schülerinnen und Schüler können die Wirkung von UV-Strahlung beschreiben und in einen Zusammenhang z.B. zur ansteigenden Anzahl von Hautkreberkrankungen setzen. Die Analyse der Versuchsvarianten lässt Freiräume zum Vergleich und zu weiteren Entwicklungen neuer experimenteller Perspektiven zu.
Handlung	Die Schülerinnen und Schüler können mögliche Experimentiervariationen entwickeln, erläutern, analysieren und vergleichen sowie weitere Handlungsschritte begründen und reflektieren.

### **3.4.3 Experiment 3 – Absorptionsverhalten ausgewählter Materialien bei UV-Strahlung** (siehe Anhang S. 239/250/262-263; 276-278)

#### Inhalt und Zielsetzung des Experiments

In diesem Experiment wird das Absorptionsverhalten unterschiedlichster Materialien auf die UV-A-, UV-B- und UV-C-Strahlung nachgewiesen. Dabei können sich wichtige Hinweise auf die Verwendung von UV-absorbierenden Materialien in der Kleiderherstellung, beim Häuserbau und sonstigen Anwendungen ergeben.

Im Gegensatz zu den beiden vorherigen Versuchen erfolgt eine Konfrontation mit bereits gewonnenen Messdaten (Schlussfolgerung). Die Daten aus der Intensitätsmessung der jeweiligen UV-Strahlungsbereiche geben Auskünfte über die energiereichste Strahlung (UV-C-Strahlung) und der am stärksten absorbierenden Materialien.

Als Versuchsmaterialien dient je eine UV-A-, UV-B- und UV-C-Strahlungsquelle mit dazugehörigem Sensor sowie großgleiche Fensterglas-, Quarzglas-, Plexiglas- und PVC-Plättchen. Da sich die vier Probeplättchen sehr ähneln, soll durch experimentelle Überprüfung herausgefunden werden, welches Plättchen dem Fensterglas, Quarzglas, Plexiglas oder PVC entspricht.

Aus den Ergebnissen der Leermessung kann sofort eine Zuordnung zur UV-A-, UV-B- bzw. UV-C-Strahlungsquelle erfolgen. Eine Überprüfung der Absorptionseigenschaften der jeweiligen Plättchen kann unter Heranziehung der auf dem Angabenblatt abgedruckten Tabelle Auskünfte zum Material liefern.

Es stellt sich hierbei die Frage, welche Materialien auf Grundlage der experimentell gewonnenen Ergebnisse in der Kleidungsherstellung und im Häuserbau bevorzugt Verwendung finden. Dabei wird der Hinweis gegeben, dass nur UV-A- und UV-B-Strahlung die Erde erreichen.

In der nächsten Aufgabe wird ein Zusammenhang zum zweiten, bereits durchgeführten Experiment hergestellt: Aus den eigenen Messungen ist bekannt, dass durch Quarzglas dringende UV-B-Strahlung ungefähr eine Strahlungsleistung von  $1,10 \text{ W/m}^2$  besitzt. Vergleicht man diesen Wert mit der Leermessung von  $1,30 \text{ W/m}^2$ , so ist die geringe absorbierende Eigenschaft von Quarzglas zu

erkennen. Sobald jedoch Sonnenschutzmittel auf das Quarzglas aufgetragen wird, liegt die am Sensor auftreffende Strahlungsleistung bei  $0 \text{ W/m}^2$ , womit eine 100%ige Absorption der UV-B-Strahlung durch auf Quarzglas aufgetragenes Sonnenschutzmittel demonstriert ist.

Um die Gefährlichkeit der energiereichen, unsichtbaren UV-Strahlung lebensnahe zu demonstrieren, leitet eine Aussage („An wolkenverhangenen Tagen brauche ich keine Angst vor UV-Strahlung haben. Schließlich halten die Wolken die UV-Strahlung ziemlich gut zurück“) die nächste experimentelle Untersuchung ein.

Unter Verwendung von dargebotenen Materialien soll zunächst eine Experimentieranordnung entworfen werden, mit der sich anschließend die absorbierende Wirkung von Wolken (Wasserdampf) auf UV-Strahlung im Experiment nachweisen lässt. Aus den gewonnenen Beobachtungen und Messungen am UV-B-Sensor wird daraufhin die für den Versuch impulsgebende Aussage kritisch hinterfragt.

### Lernervorstellungen

Das Experiment tangiert bzw. orientiert sich an folgenden Lernervorstellungen:

1. „UV-, Licht- und Wärmestrahlen sind gleich“ (KOULADIS & CHRISTIDOU 1999; ÖSTERLIND 2005; LIBARKIN ET AL. 2011)
2. „UV-Strahlung ist unsichtbar und eine energiereiche elektromagnetische Welle“ (LIBARKIN ET AL. 2011)
3. „Menschen tragen Sonnenschutzmittel an sonnigen Tagen wegen der UV-Strahlung auf die Haut auf“, „Zusammenhang von UV-Strahlung mit Sonnenbrand und Hautkrebs, mögliche Schutzmaßnahmen“ (LIBARKIN ET AL 2011; SUPING 2004; LEIGHTON & BISANZ 2003)

### Kriterium naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz

Das Experiment umschließt die naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenzen der Planung und Durchführung sowie die kritische Überprüfung einer Schlussfolgerung auf Basis einer Aussage.

### Kriterium Bausteine der Kompetenzorientierung

#### 1. Schüleraktivierende Aufgabenkultur

Die schüleraktivierende Handlungs- und Tätigkeitsaufforderung schlagen sich in den Phasen der Planung, Durchführung des Experiments als auch Auswertung der experimentell gewonnenen Ergebnisse zum Zwecke der Demonstration der UV-absorbierenden Wirkung von Festkörpern, Flüssigkeiten (Sonnenschutzmittel) und Gasen (Wasserdampf) nieder. Dabei erstreckt sich das methodische Repertoire nicht nur auf die idealtypischen naturwissenschaftlichen Arbeitsschritte, sondern auch auf die kritische Beurteilung von Aussagen auf deren fachliche Korrektheit und Eignung von ausgewählten Materialien im täglichen Bedarf.

## 2. Förderung der Metakognition

Das Experiment umfasst die strategischen Aktivitäten der Planung, Überwachung, Bewertung und Regulation des eigenen Lernprozesses. Durch die Reflexion des eigenen Lernprozesses, der Experimentiererergebnisse und der unterschiedlichen Strategien können die metakognitiven Kompetenzen gefördert werden. Exemplarisch zeigt die nachfolgende Experimentbeschreibung Beispiele für die Förderung der Metakognition:

Höchstwahrscheinlich ist den meisten Schülerinnen und Schülern eine weitere Differenzierung der UV-Strahlung in UV-A-, UV-B- und UV-C-Bereiche sowie deren Eigenschaften und gesondertes Vorkommen auf der Erde unbekannt. Darüber hinaus ist den Lernenden die absorbierende Funktion von bestimmten Materialien nicht bekannt, so dass die Kenntnis einer gezielten Verwendung von PVC- und Plexiglaselementen gerade durch deren UV-filternde Eigenschaften besonders im Hausbau fehlt.

Die vollständige Absorption von UV-B-Strahlung durch die Kombination von aufgetragenem Sonnenschutzmittel auf Quarzglasplättchen verdeutlicht, dass die Anzahl und Qualität von Absorbern entscheidend vor UV-Strahlung schützen können.

An wolkenverhangenen Tagen wird häufig die Wirkung der UV-Strahlung und daraus resultierenden Sonnenbranderscheinungen unterschätzt. Folglich zeigen die am UV-B-Sensor abgebildeten Werte, wie gering die Schwächung durch Wasserdampf gelangende UV-B-Strahlung ist. Somit besitzen Wolken – oftmals anders als erwartet – kaum einen absorbierenden Einfluss auf die energiereiche UV-Strahlung.

## 3. Outputorientierung

Zu den Zielen des dritten Experiments gehören die weitere Differenzierung der UV-Strahlung in UV-A-, UV-B- und UV-C-Bereiche und das Absorptionsverhalten ausgewählter Festkörper, Flüssigkeiten und Gase.

## 4. Kumulativität

Eine deutliche methodisch-experimentelle und fachwissenschaftlich-inhaltliche Steigerung stellt das dritte Experiment dar. So werden neue Merkmale der UV-Strahlung gezeigt und auf physikalische Absorptionsmechanismen verwiesen. Es handelt sich hierbei um neue Wissensinhalte, jedoch werden kontinuierlich eine Bindung und eine inhaltsbezogene Vertiefung zu den bereits abgeleiteten Versuchen hergestellt.

## 5. Kompetenzorientierte Diagnostik

*siehe Experimente 1*

## 6. Individuelle Förderung

Im ersten und zweiten Aufgabenteil des Experiments kann die Versuchsdurchführung und somit die Zuordnung der Plättchen in arbeitsteiliger Gruppenarbeit (z.B. eine Gruppe konzentriert sich auf die

UV-A-Strahlung) sowie eine Diskussion über die absorbierende Wirksamkeit erfolgen. Die Aufgabe 3 ist als ergänzende Vertiefung zum inhaltlichen Fokus des Experiments 2 gedacht, welches eindrucksvoll die vollständige Absorption veranschaulicht. Dieser experimentelle Beitrag kann jedoch von einem einzigen, besonders aktiven Schüler geleistet werden und benötigt nicht die Abarbeitung durch jeden einzelnen Studienteilnehmer. Die Demonstration der UV-absorbierenden Wirkung durch Wasserdampf fordert jedoch jeden einzelnen Gymnasiasten zur regen Versuchsdurchführung und Auswertung auf. Sicherlich überzeugt der aus dem alltäglichen Leben gegriffene Kontext des Experiments, so dass das Erreichen von anvisierten Lernzielen realistisch einzustufen ist.

Kriterium Kompetenzbereiche (VGL. HÖRMANN 2017B S.23)

Kompetenz	Wird erfüllt durch...
Fachwissen	Die Schülerinnen und Schüler können die Differenzierungen der UV-Strahlung in UV-A-, UV-B- und UV-C-Bereiche benennen und deren grundlegende Eigenschaften wiedergeben. Darüber hinaus können die Schülerinnen und Schüler absorbierende Eigenschaften von ausgewählten Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen charakterisieren und deren Wirksamkeit als UV-Schutz beurteilen.
Erkenntnisgewinnung	Die Schülerinnen und Schüler können (naturwissenschaftliche) Fachmethoden bei der Hypothesenbildung, Planung und Durchführung des Experiments problemangemessen anwenden und experimentell gewonnene Erkenntnisse kritisch im Hinblick auf Aussagen reflektieren. Dabei können die Schülerinnen und Schüler Versuchsvarianten entwickeln und weitere Lösungsstrategien darlegen.
Kommunikation	Die Schülerinnen und Schüler können bei der Identifizierung von Versuchsmaterialien auf Basis von Messwertprotokollen ihre Zuordnung begründen und überprüfen. Auch zeigt sich bei der kritischen Bewertung eines Sachverhalts deren Urteilsfähigkeit.
Beurteilung/Bewertung	Die Schülerinnen und Schüler können die UV-absorbierende Wirkung von ausgewählten Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen beschreiben und in einen Zusammenhang, z.B. zur Verwendung in der Textilherstellung und beim Gebäudebau, bringen. Die Ergänzung eines Versuchs um ein weiteres UV-absorbierendes Element erlaubt Freiräume, um andere Substanzen auf deren Absorptionsvermögen zu analysieren und weitere Versuchsvarianten zu entwickeln.
Handlung	Die Schülerinnen und Schüler können mögliche Experimentiervariationen entwickeln, erläutern, analysieren und vergleichen sowie weitere Handlungsschritte begründen und reflektieren.

### 3.4.4 Experiment 4 – Ozonherstellung unter dem Aspekt der UV-absorbierenden Wirkung und Temperaturveränderung (siehe Anhang S. 240-242/251-253/264-267; 279-282)

#### Inhalt und Zielsetzung des Experiments

In diesem Experiment wird Ozon mittels Hochspannung hergestellt und dessen Einfluss auf die UV-Strahlung untersucht. Während der Ozonherstellung wird auf eine Temperaturveränderung geachtet und die Herstellungsdauer gemessen.

Das vierte Experiment bindet nach wie vor die Schülerinnen und Schüler stark in die Hypothesenbildung, den Aufbau der Versuchsanordnung mit anschließender Durchführung und die Bewertung der experimentell gewonnenen Daten (Schlussfolgerung) ein. Jedoch kann aus Gründen der Sicherheitsbestimmungen nicht der komplette Versuchsablauf von Schülern absolviert werden. Deshalb übernimmt die Lehrkraft die Herstellung von Ozon mittels Hochspannung.

Zu Beginn des Versuchs messen die Schülerinnen und Schüler die in der Glasküvette vorherrschende Temperatur und tragen die durch die mit Luft gefüllte Glasküvette dringende UV-C-Strahlungsleistung in eine Messtabelle ein. Sobald die an der Glasküvette angelegte Hochspannung eingeschaltet wird, werden die am UV-C-Sensor detektierten Werte und die in der Glasküvette gemessene Temperatur alle 15 Sekunden in die dafür vorgesehenen Diagramme eingetragen. Wenn am UV-C-Sensor ein konstanter und deutlich geringerer Wert als bei der Leermessung angezeigt wird, müsste die Glasküvette nahezu vollständig mit Ozon angereichert sein. Dabei sollte die zeitliche Dauer bis zur endgültigen Ozonherstellung notiert werden.

Den Schülerinnen und Schülern wird eindrucksvoll gezeigt, dass die Ozonherstellung einige Minuten in Anspruch nimmt und Ozonmoleküle die UV-C-Strahlung stark absorbieren. Gleichzeitig sind an dem mit dem Inneren der Glasküvette verbundenem Thermometer keinerlei Temperaturänderungen festzustellen.

#### Lernervorstellungen

Das Experiment orientiert sich an folgenden Lernervorstellungen:

1. „Es wird wärmer durch weniger Ozon“ (BOYES & STANISSTREET 1993 & 1997; SCHULER 2005; REINFRIED ET AL. 2008; HANSEN 2009)
2. „Sonnenstrahlen kommen durch Ozonlöcher zur Erde hindurch und erwärmen sie“ (BOYES & STANISSTREET 1992 & 1993; KOULADIS & CHRISTIDOU 1999; SCHULER 2005; ÖSTERLIND 2005)
3. „UV-Strahlen sind heißer als Wärmestrahlen“ (BOYES & STANISSTREET 1997)

#### Kriterium naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz

Das Experiment umschließt die naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenzen der Hypothesenbildung, Planung und Durchführung sowie die Erläuterung der physikalischen Grundlagen bei der Ozonherstellung mittels variantenreicher Abbildungen.

## Kriterium Bausteine der Kompetenzorientierung

### 1. Schüleraktivierende Aufgabenkultur

Das vierte Experiment zeigt Elemente einer schüleraktivierenden Aufgabenkultur, da sich die Lernenden bei der Hypothesenbildung mit Überlegungen hinsichtlich der am UV-C-Sensor ankommenden Strahlung und dem während der Ozonherstellung zu erwarteten Temperaturverlauf mittels Multiple-Choice-Aufgaben und Diagrammen auseinandersetzen. In den Prozess des Aufbaus der Versuchsanordnung, der ersten Messung der am Sensor auftretenden UV-C-Strahlung und der Temperaturdynamik in der Glasküvette sind die Jugendlichen permanent eingebunden. Obwohl die Ozonherstellung von Seiten der Lehrkraft durch Hochspannung induziert wird, tragen die Schülerinnen und Schüler die am Sensor ablesbare Strahlungsleistung und die in der Glasküvette befindlichen Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit alle 15 Sekunden ein.

Die im Anschluss an den praktischen Teil der Aufgabe stattfindende Beschreibung und Erläuterung der Ozonherstellungsvarianten involviert die Gymnasiasten fortlaufend.

### 2. Förderung der Metakognition

Eine Förderung der Metakognition liegt an mehreren Stellen des Experiments vor: Nicht jedem Schüler ist die UV-absorbierende Wirkung von Ozon bewusst, welche sich direkt am immer geringer werdenden Strahlungsleistungswert am UV-C-Sensor ableiten lässt. Allerdings ist den Schülern von den Experimenten 1 und 2 noch geläufig, dass UV-Strahlung an sich keinen Einfluss auf die vorherrschende Temperatur nimmt. Jedoch erwarten einige Schüler bei sinkender Detektierung von UV-C-Strahlung am Sensor ein Abschwächen der Temperatur bzw. eine durch die angelegte Hochspannung einsetzende Temperaturerhöhung. In der Realität unterliegt die Temperatur bei der Ozonherstellung keinerlei Schwankungen. Der Ozonherstellung muss mit etwas Geduld begegnet werden, da diese oftmals bis zu fünf Minuten beansprucht und das Einpendeln eines Repräsentanzwertes am Sensor von Kondensationskeimbildung in der Glasküvette begleitet wird.

### 3. Outputorientierung

Die Ziele des dritten Experiments lauten: Kenntnis der Ozonherstellung mittels Anlegen von Hochspannung an eine mit Luft gefüllte Glasküvette. Beim recht langwierigen Prozess der Ozonherstellung zeigen sich keinerlei Einflüsse auf die vorherrschende Temperatur, es sinkt lediglich der am UV-C-Sensor ankommende Wert durch die absorbierende Wirkung des Ozons. Daraus kann geschlossen werden, dass (stratosphärisches) Ozon vor UV-Strahlung schützt.

### 4. Kumulativität

Inhaltlich und methodisch setzt das vierte Experiment deutlich höhere Ansprüche als die bisher vorgestellten Versuche. Die Überlegungen in den Phasen der Hypothesenbildung, der tatsächlichen Überprüfung im Experiment sowie die im Versuch gewonnenen Erkenntnisse setzen gesichertes Fachwissen aus der Geographie und Physik voraus. Überdies wird ein Zusammenhang zwischen der UV-Strahlungsthematik der Versuche 1 bis 3 mit der realen Situation der Ozonherstellung hergestellt.

## 5. Kompetenzorientierte Diagnostik

Das Experiment umfasst die strategischen Aktivitäten der Planung, Überwachung, Bewertung und Regulation des eigenen Lernprozesses. Durch die Reflexion des eigenen Lernprozesses, der Experimentiererergebnisse und der unterschiedlichen Strategien können die metakognitiven Kompetenzen gefördert werden. Exemplarisch zeigt die nachfolgende Experimentbeschreibung Beispiele für die Förderung der Metakognition:

Die klare Orientierung des Experiments an identifizierten Schülervorstellungen ermöglicht das Aufgreifen von fachlich korrekten Konzepten (Verstärken von Vorwissen) sowie die Optimierung von fehlerbehafteten Präkonzepten. Die Lernervorstellung „Es wird wärmer durch weniger Ozon“ würde automatisch bedeuten, dass es durch mehr Ozon auf der Erde kälter werden würde. Dies hat der eben skizzierte Versuch nicht gezeigt, ein Einfluss auf die Temperatur war zu keinem Zeitpunkt messbar.

## 6. Individuelle Förderung

Im Vergleich zu den bisher aufgearbeiteten Experimenten ist dieser Versuch durch eine geringere individuelle Förderung gekennzeichnet. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass der Prozess der Ozonherstellung an sich strenger an Versuchsgärtschaften gebunden ist, teilweise von der Lehrkraft im Demonstrationsexperiment durchgeführt wird und inhaltlich eine viel größere Komplexität aufweist als die anderen experimentellen Lehr-Lern-Umgebungen. Trotzdem bietet die Möglichkeit der Beobachtung und Protokollierung eine zielführende Auseinandersetzung mit der Thematik, womit das angepeilte Lernziel auch erfüllt werden kann. Ein abrundender Exkurs zur Ozonherstellung bietet den Impuls, vertieft in die Materie einzutauchen, physikalische Kenntnisse aufleben zu lassen und besonders interessierte Schüler zu fördern.

Kriterium Kompetenzbereiche (VGL. HÖRMANN 2017B S.23)

Kompetenz	Wird erfüllt durch...
Fachwissen	Die Schülerinnen und Schüler können die bei der Ozonherstellung relevanten physikalischen Grundlagen nennen und wiedergeben. Darüber hinaus können die Schülerinnen und Schüler die UV-absorbierende Wirkung von Ozon erläutern und temperaturverändernde Prozesse diskutieren sowie den zeitlichen Verlauf bei der Ozonherstellung wiedergeben.
Erkenntnisgewinnung	Die Schülerinnen und Schüler können (naturwissenschaftliche) Fachmethoden bei der Hypothesenbildung, Planung und Durchführung des Experiments problemangemessen anwenden und experimentell gewonnene Erkenntnisse kritisch im Hinblick auf bestehende Lernervorstellungen reflektieren. Dabei können die Schülerinnen und Schüler weitere Versuchsvarianten entwickeln, die für eine Ozonherstellung in Frage kommen.

Kommunikation	Die Schülerinnen und Schüler können am Beispiel ausgewählter Multiple Choice Aufgaben und Diagrammen die am UV-C-Sensor zu erwartende Strahlungsleistung sowie die konstante ausbleibende Temperaturveränderung bei der Ozonherstellung fundiert zuordnen und etwaige Schwankungen begründen.
Beurteilung/Bewertung	Die Schülerinnen und Schüler können die UV-absorbierende Wirkung von Ozon beschreiben, wie auch Temperaturverläufe und Ozonherstellungszeiten erläutern.
Handlung	Die Schülerinnen und Schüler können mit Absprache der Lehrkraft mögliche Experimentiervariationen entwickeln, erläutern, analysieren und vergleichen sowie weitere Handlungsschritte begründen und reflektieren.

### **3.4.5 Experiment 5 – Simulation des Ozonlochs** (siehe Anhang S. 243-244/254-256/268-271; 283-284)

#### Inhalt und Zielsetzung des Experiments

In diesem Experiment wird die Entstehung des Ozonlochs simuliert. Dabei wird in die mit Ozon angereicherte Glasküvette das FCKW simulierende Dichlormethan gespritzt, womit zum einen das Ozonmolekül zerstört wird und zum anderen der am UV-C-Sensor angezeigte Wert eine deutliche Zunahme erfährt. Wie im vierten Experiment sind die Temperaturveränderung während der Ozonzerstörung von Interesse sowie die bis zu einem soliden Repräsentanzwert verstreichende Zeit.

Dieses Experiment lehnt sich stark am methodischen Vorgehen des vierten Beitrags der Lehr-Lern-Landschaft an. Im Gegensatz zum vorherigen Experiment hält sich die Lehrkraft im Hintergrund und nimmt die Rolle des Beobachters und Beraters ein, so dass es sich wieder um ein reines Schülerexperiment handelt. Diesmal wird die Hypothesenbildung von einer Multiple Choice Aufgabe und einer Diagramm-Zuordnung begleitet. Mit Hilfe einer Materialsammlung soll ein Experiment konzipiert werden, welches die Simulation des Ozonlochs demonstriert. Ehe mit der Ozonvernichtung gestartet wird, werden die durch das Ozon gelangende UV-C-Strahlungsleistung und der in der ozonangereicherten Glasküvette messbare Temperaturwert notiert. Unter strikter Einhaltung der Sicherheitsbestimmung (Tragen von Mundschutz und Handschuhe, Öffnen des Fensters zum Zweck der Frischluftzufuhr) spritzt ein Schüler etwa 2ml des FCKW simulierenden Dichlormethans in die mit Ozon gesättigte Glasküvette. Unmittelbar nach dem Wiederverschließen der Glasküvette werden in einem zeitlichen Intervall von 15 Sekunden die am UV-C-Sensor detektierten Strahlungsleistungswerte und die am Thermometer erkennbaren Schwankungen in die Diagrammvorlagen eingetragen. Dabei fällt auf: Die Temperatur verändert sich – identisch wie bei der Ozonherstellung – nicht, der am UV-C-Sensor angezeigte Wert hingegen erhöht sich sehr schnell, womit die Ozonzerstörung deutlich weniger Zeit in Anspruch nimmt als die Herstellung des Moleküls.

Die Auseinandersetzung mit ausgewählten Treibhausgasen und deren Verweildauer zeigt, dass FCKWs beispielsweise eine durchschnittliche Verweildauer von 90 Jahren besitzen.

Die identische Versuchsanordnung wird erneut verwendet und die Lehrkraft schließt mit der Absicht der wiederholten Ozonherstellung Hochspannung an die Elektroden der Glasküvette an. An dieser Stelle begleiten die Schülerinnen und Schüler die Messung durch Eintragen von UV-C-Strahlungsleistungswerten im 15 Sekunden Takt in eine leere Diagrammdarstellung. Wohingegen die Ozonherstellung in Experiment 4 ca. fünf Minuten in Anspruch nimmt, dauert die Herstellung des Moleküls in einer mit Dichlormethan angereicherten Glasküvette nun bis zu 15 Minuten, ehe der Wert der Strahlungsleistung am UV-C-Sensor eine Abnahme erkennen lässt. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass der von Experiment 4 erreichte Wert wesentlich niedriger ist als der eben gewonnene. Somit kann in der wiederholten Ozonherstellung die lange Verweildauer und somit das nachhaltig schädigende Potential von FCKW und anderen Schadstoffen demonstriert werden.

Das soeben beschriebene Experiment liefert Beiträge zur Hypothesenbildung, zur Planung und Durchführung eines Experiments als auch zur Schlussfolgerung, womit alle Arbeitsschritte naturwissenschaftlicher Arbeitskompetenz bedient sind.

#### Lernervorstellungen

Das Experiment orientiert sich an folgenden Lernervorstellungen:

1. „Es wird wärmer durch weniger Ozon“ (BOYES & STANISSTREET 1993 & 1997; SCHULER 2005; REINFRIED ET AL. 2008; HANSEN 2010)
2. „Sonnenstrahlen kommen durch Ozonlöcher zur Erde hindurch und erwärmen sie“ (BOYES & STANISSTREET 1992 & 1993; KOULADIS & CHRISTIDOU 1999; SCHULER 2005; ÖSTERLIND 2005)
3. „Mehr UV-Strahlen gelangen durch Ozonlöcher. UV-Strahlen sind heißer als Wärmestrahlen“ (BOYES & STANISSTREET 1997)
4. „Treibhausgase fressen Löcher in die Ozonschicht“ (RYE ET AL. 1997; SCHULER 2005; EKBORG & ARESKOUG 2006; REINFRIED ET AL. 2008)

#### Kriterium naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz

Das Experiment umschließt die naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenzen der Hypothesenbildung, Planung und Durchführung sowie die Erläuterung der physikalischen Grundlagen bei der Simulation des Ozonlochs und der erneuten Ozonherstellung.

#### Kriterium Bausteine der Kompetenzorientierung

##### 1. Schüleraktivierende Aufgabenkultur

Das fünfte Experiment zeigt insofern Elemente einer schüleraktivierenden Aufgabenkultur, da sich die Lernenden bei der Hypothesenbildung mit Überlegungen hinsichtlich der am UV-C-Sensor ankommenden Strahlung und dem während der Ozonvernichtung zu erwarteten Temperaturverlauf

mittels Multiple-Choice-Aufgaben und Diagrammen auseinandersetzen. In den Prozess des Aufbaus der Versuchsanordnung, der ersten Messung von der am Sensor auftretenden UV-C-Strahlung und der Temperaturdynamik in der Glasküvette sind die Jugendlichen permanent eingebunden. Obwohl die erneute Ozonherstellung durch Hochspannung von Seiten der Lehrkraft induziert wird, tragen die Schülerinnen und Schüler die am Sensor ablesbare Strahlungsleistung als auch die Temperaturentwicklung in Abhängigkeit von der Zeit alle 15 Sekunden ein.

Die im Anschluss an den praktischen Teil der Aufgabe stattfindende Diskussion über die Verweildauer ausgewählter Treibhausgase beansprucht die Jugendlichen durchwegs.

## 2. Förderung der Metakognition

Das Experiment umfasst die strategischen Aktivitäten der Planung, Überwachung, Bewertung und Regulation des eigenen Lernprozesses. Durch die Reflexion des eigenen Lernprozesses, der Experimentiererergebnisse und der unterschiedlichen Strategien können die metakognitiven Kompetenzen gefördert werden.

Eine Förderung der Metakognition liegt an mehreren Stellen des Experiments vor: Sobald das Dichlormethan den Prozess der Ozonvernichtung einleitet, gelangen mehr UV-C-Strahlen zum Sensor. Gerade die Messung des Temperaturverlaufs zeigt erneut, dass die Lernervorstellung „Es wird wärmer durch weniger Ozon“ nicht zutrifft. Der Vorgang des Einspritzens der FCKW simulierenden Flüssigkeit nimmt nur wenige Sekunden in Anspruch, jedoch sind die Folgen der Beigabe – nämlich der Abbau des Ozonmoleküls – binnen 30 Sekunden sehr stark zu erkennen. Somit wird ein Bewusstsein geschaffen, wie langwierig die Ozonherstellung im Vergleich zur Zerstörung dauert.

Legt man an die mit wenig Dichlormethan angereicherte Glasküvette erneut Hochspannung an, so wird ersichtlich: Die Ozonherstellung verlängert sich um mindestens die dreifache Zeit, die Temperatur innerhalb der Glasküvette verändert sich nicht und ein einmaliges Einspeisen von Treibhausgasen verursacht langfristig und nachhaltig eine enorme Schädigung des Systems.

Die Lernervorstellungen „Es wird wärmer durch weniger Ozon“, „Mehr UV-Strahlen gelangen durch Ozonlöcher. UV-Strahlen sind heißer als Wärmestrahlen“ als auch „Treibhausgase fressen Löcher in die Ozonschicht“ besitzen z.T. fachlich korrekte Elemente, jedoch kann mit Hilfe der Experimente eine Optimierung bzw. Richtigstellung derartiger Präkonzepte erfolgen.

## 3. Outputorientierung

Die Ziele des fünften Experiments sind die modellhafte Demonstration der Entstehung des Ozonlochs und den damit verbundenen Auswirkungen. So zerstören FCKWs Ozonmoleküle, wodurch deutlich mehr UV-Strahlen durch Ozonlöcher (Ausdünnung der Ozonkonzentration) gelangen und dabei keine Temperaturveränderungen messbar sind. Überdies setzt man sich im Experiment mit der raschen Ozonzerstörung (im Vergleich zur Ozonherstellung) und den langen Verweildauern der Treibhausgase auseinander.

#### 4. Kumulativität

Inhaltlich und methodisch ähneln sich die Experimente 4 und 5 stark, wobei in beiden deutlich höhere Ziele als in die bisher vorgestellten Versuche gesetzt sind. Die Überlegungen in den Phasen der Hypothesenbildung, der tatsächlichen Überprüfung im Experiment sowie den im Versuch gewonnenen Erkenntnissen setzen fundiertes Grundwissen aus der Geographie und Physik voraus. Überdies wird eine Verbindung der UV-Strahlungsthematik der Versuche 1 bis 3 mit der realen Situation der Ozonherstellung in Verbindung gebracht. Durch die Simulation des Ozonlochs wird der modellhafte Charakter besonders verdeutlicht, welcher in reale Kontexte übertragen werden kann.

#### 5. Kompetenzorientierte Diagnostik

*siehe Experiment 1*

#### 6. Individuelle Förderung

Abgesehen von der erneuten Herstellung des Ozons, welches durch die Lehrkraft vorgenommen wird, findet eine kontinuierliche Einbindung der Lernenden in die Prozesse der Hypothesenbildung, Planung und Durchführung des Experiments sowie Auswertung und vergleichende Diskussion der Messergebnisse statt. Nach wie vor wird ein hoher Grad an Selbstständigkeit, Verantwortlichkeit und Organisation von den Schülern abverlangt, wobei die zielführende und umfassende Auseinandersetzung mit der Gesamthematik methodische und inhaltsbezogene Förderungsakzente setzt.

#### Kriterium Kompetenzbereiche (VGL. HÖRMANN 2017B S.23)

Kompetenz	Wird erfüllt durch...
Fachwissen	<p>Die Schülerinnen und Schüler können die bei der Ozonvernichtung relevanten physikalischen Grundlagen nennen und wiedergeben. Auch können die Schülerinnen und Schüler das Modell der Ozonloch-Simulation anwenden, auf die Realität übertragen und auftretende Erscheinungen systematisch erklären.</p> <p>Des Weiteren können die Schülerinnen und Schüler den zeitlichen Verlauf von Ozonherstellung und Ozonvernichtung vergleichen und im Hinblick auf die unterschiedlichen Eigenschaften der beteiligten Treibhausgase weitere Analysen anstellen.</p>
Erkenntnisgewinnung	<p>Die Schülerinnen und Schüler können (naturwissenschaftliche) Fachmethoden bei der Hypothesenbildung, Planung und Durchführung des Experiments problemangemessen anwenden und experimentell gewonnene Erkenntnisse kritisch bzgl. auf bestehende Lernervorstellungen reflektieren. Dabei können die Schülerinnen und Schüler weitere Versuchsvarianten</p>

entwickeln, strukturieren und neue Erkenntnisse experimentell herausarbeiten, welche sich in andere Darstellungsformen umwandeln lassen.

Kommunikation	Die Schülerinnen und Schüler können am Beispiel ausgewählter Multiple Choice Aufgaben und Diagrammen, die am UV-C-Sensor zu erwartende Strahlungsleistung sowie die konstante ausbleibende Temperaturveränderung bei der Ozonvernichtung durchdacht zuordnen und etwaige Schwankungen begründen. Außerdem können die Schülerinnen und Schüler natur- und sozialräumliche Auswirkungen abschätzen, Zusammenhänge erkennen, Aussagen bewerten und angemessen auf derartige Schlüsselprobleme reagieren.
Beurteilung/Bewertung	Die Schülerinnen und Schüler können die Auswirkungen des Ozonlochs im Hinblick auf vermehrt auf die Erde gelangende, gefährliche UV-Strahlung und den damit verbundenen Problemen (z.B. Hautkrebserkrankungen) verstehen und mit angemessenen Handlungsstrategien (z.B. Verbot von FCKWS) reagieren.
Handlung	Die Schülerinnen und Schüler können mit Absprache der Lehrkraft mögliche Experimentiervariationen entwickeln, erläutern, analysieren und vergleichen sowie weitere Handlungsschritte begründen und reflektieren.

### 3.5 Expertenrating

Die Eignung der experimentellen Lehr-Lern-Landschaft zu den Themen ‚Eigenschaften von Strahlungsarten, Herstellung von Ozon und Simulation des Ozonlochs‘ wurde hinsichtlich der praktischen Umsetzung mit den Schülern von Gymnasiallehrern umfassend diskutiert.

Zunächst wurden die Gymnasiallehrer mit gängigen Lernvorstellungen zu den eben genannten Themen konfrontiert, so dass das Anliegen der Intervention – diese fehlerhaften oder vollkommen fachlich inkorrekten Präkonzepte mit Hilfe der experimentellen Konzeption zu optimieren bzw. zu beseitigen – klar formuliert war. Darüber hinaus wurde von Seiten der Studienleiterin die Intention ausgesprochen, einen Beitrag zur naturwissenschaftlichen Arbeitstechnikkompetenz im Rahmen der Studie zu leisten.

So nahmen die Pädagogen die Rolle der Schüler ein und bearbeiteten die Experimente mit Hilfe der Versuchsanleitungen binnen einer Schuldoppelstunde (90 Minuten).

In dieser Zeit übernahm die Studienleiterin die beobachtende Rolle und zeigte sich nur mit einer Ausnahme beim Lehrereperiment (Ozonherstellung mittels Hochspannung) aktiv involviert.

Während der Beobachtungsphase konnten keinerlei Besonderheiten oder gar Schwierigkeiten bei der Versuchsdurchführung bzw. der Handhabung der Begleitmaterialien festgestellt werden.

Im Anschluss an die Erprobung der Lehr-Lern-Landschaft und der Sichtung der Begleitmaterialien wurden die Geographielehrer angehalten, ihre Eindrücke (insbesondere zur Eignung der Konzeption für die praktische Nutzung) wiederzugeben.

Positiv hervorzuheben ist das klare Schema, die inhaltliche und methodische Abwechslung der Experimente und den dazugehörigen Begleitmaterialien:

- Präsentation des Titels bzw. des Inhalts des Experiments
- klare Vorgabe des anvisierten Ziels des Experiments/der Outputorientierung
- übersichtliche Darstellung der zu verwendenden Versuchsmaterialien und weitere Erläuterung zu deren Handhabung
- motivierende, impulsgebende und aus dem realen Kontext entnommene Informationstexte
- ständig wachsender inhaltlich-methodischer Anspruch der Aufgaben
- starke Strukturierung der Aufgaben und Anlehnung an Operatoren und Kompetenzen
- abwechselnde Gestaltung der Aufgaben: Abbildungen wie z.B. Zuordnungsaufgaben, Multiple Choice Aufgaben, Erklärungsfunktion, stummer Impuls und tabellarische Darstellungen vermitteln ein Gefühl für Größenordnungen
- Arbeiten mit Diagrammen und Tabellen schulen das Umsetzen der Informationen in andere Darstellungsformen
- Dreiklang von Hypothesenbildung, Experiment planen und durchführen sowie Schlussfolgerung durchgängig erkennbar
- Materialien sind sehr verständlich und liefern für die praktische Umsetzung eine sehr gelungene Orientierungshilfe. Darüber hinaus holen die Materialien und Versuche die Schülerinnen und Schüler vom gleichen Kenntnisstandpunkt ab, geben zwar einerseits deutlich Handlungsschritte vor, andererseits wird genügend Raum für Kreativität gelassen. So benötigen leistungsstärkere Schüler möglicherweise weniger Zwischenschritte und leistungsschwächere Schüler gehen „nicht unter“ oder sind gar frustriert.

Im Hinblick auf die einzelnen Experimente ergaben sich folgende Anmerkungen:

- Die in den einzelnen Experimenten herangezogenen Materialien und Gerätschaften sind gut in der Handhabung, auch Lehrer ohne weitere naturwissenschaftliche Ausbildung sind sich in der experimentellen Anwendung sehr sicher.
- Die Experimente besitzen großes Potential, fachwissenschaftliche Inhalte zu erklären bzw. zu vertiefen und naturwissenschaftliche Vorgehensweisen in Selbstorganisation kennenzulernen und einzuüben.
- Die Experimente sind direkt an Mittelstufenschüler adressiert, schülergerecht formuliert, bieten aufgrund ihrer Verständlichkeit, Aktualität und dem fortwährenden Lebensbezug einen hohen Anreiz, von den Schülern bearbeitet zu werden.
- Sehr gute Abwechslung von Aufgaben: Elemente von Instruktion und Konstruktion werden von Schüler- und Demonstrationsexperimenten durchsetzt.
- Die Experimente induzieren hohe Lerneffekte durch das ständig ansteigende inhaltlich-methodische Niveau und dem hohen Anspruch an Selbstwirksamkeit, wobei die einzelnen Messungen, Skizzierungen und abwechselnde Aufgabenstellungen weder über- noch unterfordern. Auch wenn das erste Experiment recht banal erscheint, so fungiert dieses als Eisbrecher und motiviert zur weiteren Bearbeitung der Lehr-Lern-Landschaft.

- Obwohl manche Themen, wie die Simulation des Ozonlochs, eher abstrakt sind, wird die Komplexität des Themas auf ein adäquates Maß reduziert und gleichzeitig die Arbeit mit Modellen gefördert.
- Der zeitliche Bedarf von 90 Minuten für die Ableistung der experimentellen Intervention einschließlich der Begleitforschung zu motivationalen Effekten ist in das normale Unterrichtsgeschehen gut einzubinden.

## II. Umsetzungsphase 1

Die Umsetzungsphase dient der erstmaligen Erprobung der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung mit Schülern in symbiotischer Zusammenarbeit mit Lehrkräften (design procedure). Begleitet wird diese Phase durch mehrmalige Datenerhebungen.

In der untenstehenden Abbildung ist die Architektur der Umsetzungsphase der ersten Intervention (=Prototyp) skizziert:

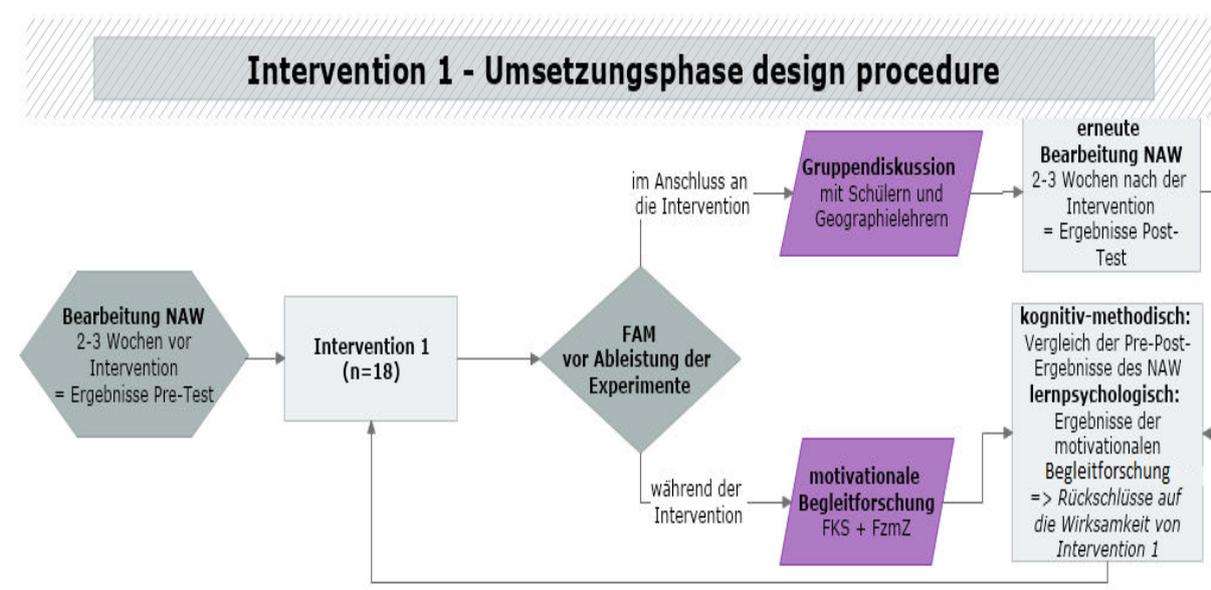


Abbildung 20: Architektur der Umsetzungsphase der Intervention I - design procedure

### 1. Interventionsphase 1 – design procedure

Im Folgenden werden die einzelnen Phasen der ersten Intervention in ihrem Ablauf und der Datengewinnung sowie deren Auswertung beschrieben.

#### 1.1 Erhebungen vor der experimentellen Intervention

Das Messinstrument zur Erfassung naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen wurde von 18 Schülerinnen und Schülern drei Wochen vor der experimentellen Erprobung der Intervention bearbeitet. Im Anschluss an die Bearbeitung erfolgte umgehend die Auswertung der Testergebnisse nach den gleichen Prinzipien wie im Verfahren der Gütebestimmung des Erhebungsinstruments (n=292). Auf Basis der Ergebnisse des Tests wurden drei heterogene Gruppen à sechs Interventionsteilnehmer gebildet.

## 1.2 Ablauf und Erhebungen am Tag der experimentellen Intervention

Während der Interventionsphase 1 der ersten Umsetzungsphase fand die Erprobung der experimentellen Konzeption an drei aufeinanderfolgenden Tagen mit jeweils sechs Schülern statt.

Aus den 292 Studienteilnehmern entschied sich die Studienleiterin in Absprache mit den Gymnasiallehrern für je 18 Personen umfassende Interventionsgruppen, die sich in ihrer Grundcharakteristik sehr ähnlich sind (d.h. die Schüler besuchen das gleiche Gymnasium, sind gleich alt, die erzielten Leistungen in den Unterrichtsfächern Physik und Geographie sind durchschnittlicher Natur und stimmen überein).

Zwar wurde vorgegeben, welche 18 Schüler z.B. zur Interventionsgruppe 1 gehören, jedoch erfolgte die Zusammensetzung der Untergruppen von jeweils sechs Interventionsteilnehmern selbstständig.

Am Tag der Intervention wurden die themenbezogenen Schwerpunkte der einzelnen Experimente knapp vorgestellt, womit allen Studienteilnehmern Inhalt und Ablauf der experimentellen Umsetzung bekannt war.

Zunächst wurden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, den ‚Fragebogen zur Erfassung der Aktuellen Motivation‘ (FAM) auszufüllen, ehe die ersten drei Experimente in Kleingruppen von den Schülern bearbeitet wurden. Im Anschluss an das dritte Experiment erfolgte die Bearbeitung der Erhebungsinstrumente ‚Flow-Kurz-Skala‘ (FKS) und ‚Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes‘. Im weiteren Verlauf wurden die Experimente 4 und 5 im abwechselnden Rhythmus von Schüler- und Demonstrationsexperiment abgeleistet und schließlich in einer Gruppendiskussion erste Eindrücke von der Konzeption entnommen.

Die Interventionsphase wurde durchwegs von Beobachtungen durch Forscher (Studienleiterin), Praktiker (Gymnasiallehrer) und Schüler (keine Studienteilnehmer, Funktion als externer Beobachter bzw. photographische Dokumentation der Intervention) begleitet. Vereinzelte Experimente, die den geltenden Sicherheitsbestimmungen unterliegen, wurden von Unterrichtspraktikern durchgeführt. Zum einen erfolgten die Beobachtungen auf Basis subjektiv gewonnener Eindrücke, zum anderen half ein Protokollationsbogen (siehe *Anhang* S. 285-287), die eigenen Sichtweisen zu ordnen und zu systematisieren.

## 1.3 Erhebungen nach der experimentellen Intervention

Nachdem alle 18 Schülerinnen und Schüler die experimentelle Intervention erfolgreich durchlaufen haben, wurde zwei Wochen später der Test zur Erfassung von naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und zum Fachwissen erneut bearbeitet. Auf Grundlage der beiden Tests kann somit ein Pre-Post-Vergleich erfolgen und weitere Informationen hinsichtlich der Effektivität der Lehr-Lern-Umgebung bezüglich Fachwissenszuwachs und Schulung methodischer Arbeitsweisen gesammelt werden.

### III. Analysephase 1

#### 1. Auswertung und Analyse der erhobenen Daten aus Interventionsphase 1

Gestützt auf die Ergebnisse der quantitativen (Test zur Erfassung des Fachwissens und der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnikkompetenz sowie der motivationalen Begleitforschungsinstrumente) und qualitativen Erhebungen erfolgt eine Analyse der experimentellen Lehr-Lern-Umgebung hinsichtlich auf deren kognitive, methodische und motivationale Wirksamkeit. Aus den Evaluationsergebnissen sollen Vorschläge für das Re-Design der Intervention abgeleitet werden.

##### 1.1 Naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissenstest

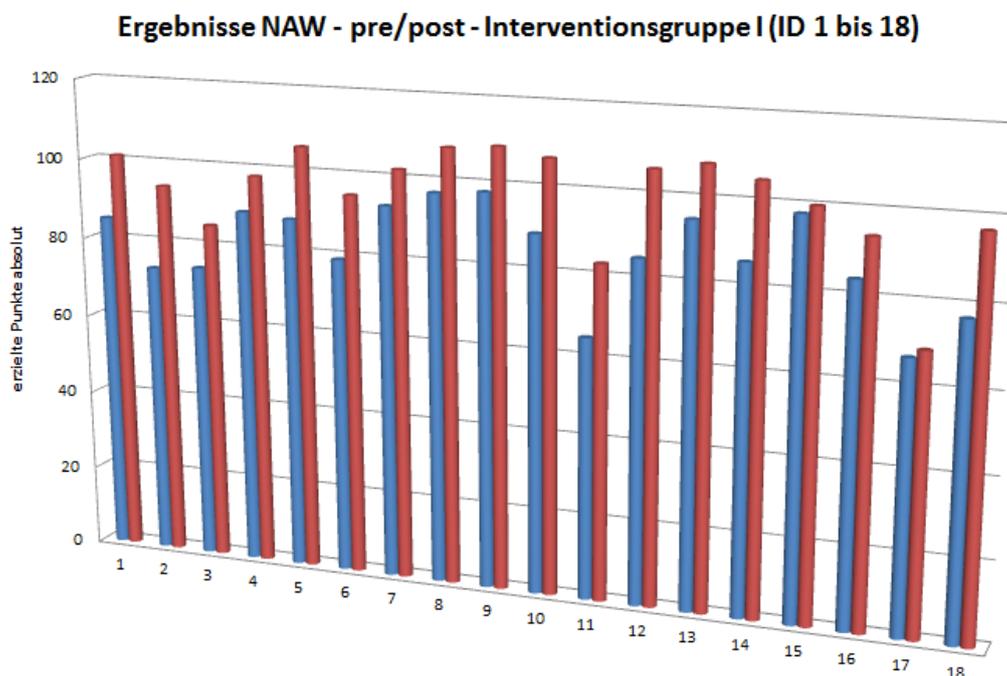
Der identische Test zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz (zu den Themen Strahlungsarten und deren Eigenschaften, Herstellung von Ozon, Absorptionsverhalten ausgewählter Materialien vor UV-Strahlung und Ozonloch) wurde von der 18 Personen starken Interventionsgruppe 1 sowohl vor als auch nach der praktischen, experimentellen Umsetzung bearbeitet. Die Interventionsgruppe bestand aus 7 weiblichen (ID\*) und 11 männlichen (ID) Schülern (Durchschnittsalter: 16,44 Jahre,  $\sigma=0,707$ ; Durchschnittsnote Physik: 3,00; Durchschnittsnote Geographie: 2,16). Die maximal zu erreichende Punktzahl beträgt 122 Punkte.

Nachfolgend sind die erzielten Ergebnisse in Form von Punktescores (absolut und in Prozent) und der Skalen Hypothesenbildung, Experiment planen und durchführen sowie Schlussfolgerung im Pre-Post-Vergleich zu entnehmen:

ID NR.	Punktesumme Pre absolut	Punktescore Pre [%] : 100	Punktesumme Post absolut	Punktescore Post [%] : 100	Punktescore- differenz absolut	Punktescoredif- ferenz in %-Punkte : 100
1	85	0,702479	101	0,834711	16	0,132232
2	73	0,603306	94	0,77686	21	0,173554
3	74	0,61157	85	0,702479	11	0,090909
4	89	0,735537	98	0,809917	9	0,074
5	88	0,727273	106	0,876033	18	0,14876
6	79	0,652893	95	0,785124	16	0,132231
7	93	0,768595	102	0,842975	9	0,07438
8	97	0,801653	108	0,892562	11	0,090909
9	98	0,809917	109	0,900826	11	0,090909
10*	89	0,735537	107	0,884298	18	0,148761
11*	65	0,53719	83	0,68595	18	0,14876
12	85	0,702479	106	0,876033	21	0,173554
13*	95	0,785124	108	0,892562	13	0,107438
14	86	0,710744	105	0,867769	19	0,157025
15*	98	0,809917	100	0,826446	2	0,016529
16*	84	0,694215	94	0,77686	10	0,082645

17*	67	0,553719	69	0,570248	2	0,016529
18*	77	0,636364	97	0,801653	20	0,165289

Tabelle 16: Punktescore Pre-Post (absolut und in Prozent) – Interventionsgruppe 1



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
■ Punktesumme Pre absolut	85	73	74	89	88	79	93	97	98	89	65	85	95	86	98	84	67	77
■ Punktesumme Post absolut	101	94	85	98	106	95	102	108	109	107	83	106	108	105	100	94	69	97

Abbildung 21: Punktescore Pre-Post (absolut und graphisch) - Interventionsgruppe 1

Im Pre-Test erzielten der leistungsschwächste Schüler 65 und die beiden leistungsstärksten Schüler 98 Punkte. Alle am ersten Interventionsdurchgang teilnehmenden Schüler konnten nach erfolgreich absolvierter Experimentierumgebung ihre Leistungen verbessern. So konnte der im Pre-Test leistungsschwächste Schüler seine Leistung von 65 auf 83 Punkte steigern und 10 von 18 Studienteilnehmern sogar Punkte im dreistelligen Bereich erzielen. Dem leistungsstärksten Schüler gelang es, mit insgesamt 109 Punkten zu reüssieren. Im Schnitt wurden von Interventionsgruppe 1 im Pre-Test 84,55 Punkte und im Post-Test 98,16 Punkte erzielt. Folglich ist bei der leistungsstarken Gruppe durch das Absolvieren der Experimentierlandschaft eine Leistungssteigerung zu verzeichnen.

Anhand der Übersicht sind folgende Auffälligkeiten festzustellen:

Studienteilnehmer ID 15 und ID 17 erzielten beim Vergleich der Pre-Post-Ergebnisse die geringsten Steigerungen. Während ID 15 bereits im Pre-Test mit 98 Punkten schon sehr gute Leistungen erbrachte, ist eine Steigerung um 2 Punkte im Post-Test als gering einzustufen. Ähnliches Punkteschema – jedoch mit viel geringerer Ausgangspunktebasis – lässt ID 17 erkennen. Gesundheitliche Probleme während der Bearbeitung des Post-Tests beeinträchtigten die Leistungsfähigkeit von ID 17 stark, so dass sicherlich deutlich bessere Ergebnisse unter anderen

Umständen erzielt worden wären. Auf die Frage nach der Wirksamkeit der experimentellen Lehr-Lern-Umgebung auf kognitive Fähigkeiten besitzen die erzielten Leistungen von ID 17 somit keinen Einfluss.

Ein genaueres Bild über die Qualität der Bearbeitung des Tests zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen, sortiert nach Variablen und Variablenlabel im Pre-Post-Vergleich mit Schlussfolgerung, ist nachfolgender Tabelle zu entnehmen:

Variable	Variablenlabel	Pre	Post	Schlussfolgerung
NAW_1A.01	<i>Die Abstände zwischen Leuchtmittel und Thermometer waren unterschiedlich groß und deshalb erwärmt sich das unter der IR-Lampe liegende Thermometer stärker</i>	k:18 f:0	k:17 f:1	Verschlechterung
NAW_1A.02	Bei der Bestrahlung der Thermometer wird gleich viel Wärmeenergie verbraucht.	k:16 f:2	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_1A.03	Bei der Bestrahlung der Thermometer mit sichtbarem und IR-Licht wird mehr Wärmeenergie frei als bei UV-Strahlung.	k:16 f:2	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_1A.04	Das Thermometer unter der UV-Lampe wird weniger erwärmt, weil UV-Strahlung weniger energiereich ist als sichtbare oder IR-Strahlung.	k:9 f:9	k:14 f:4	Verbesserung
NAW_1B.01	<i>Bei der Halbierung des Abstandes der Strahlungsquellen zum Thermometer ist eine direkte Proportionalität von Abstand und Temperaturanstieg erkennbar</i>	k:17 f:1	k:13 f:5	Verschlechterung
NAW_1B.02	<i>Bei der Halbierung des Abstandes wird gleich viel Wärme von den Einzellampen abgestrahlt, wie im vorangegangenen Versuch.</i>	k:18 f:0	k:17 f:1	Verschlechterung
NAW_1B.03	Bei der Halbierung des Abstandes zwischen Strahlungsquelle und Thermometer liefern die VIS- und IR-Lampe die stärksten Temperaturanstiege.	k:18 f:0	k:18 f:0	Keine Veränderung
NAW_1B.04	Bei der Halbierung des Abstandes zwischen Strahlungsquelle und Thermometer erwärmt die UV-Lampe das Thermometer am wenigsten, da deren Strahlung weniger gefährlich und somit energieärmer ist, als die der sichtbaren IR-Strahlung.	k:16 f:2	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_1C.01	Wenn die UV-Lampe auf das Pflanzenblatt strahlt, dann verdorrt dieses stärker, aber erwärmt sich weniger stark als mit einer Bestrahlung von der Tisch- bzw. IR-Lampe.	k:18 f:0	k:18 f:0	Keine Veränderung
NAW_1C.02	<i>Wenn die IR-Lampe und die Tischlampe auf das Pflanzenblatt doppelt so lange strahlen, dann ist die Verbrennung genauso stark wie bei der Bestrahlung mit UV-Licht.</i>	k:18 f:0	k:17 f:1	Verschlechterung
NAW_1C.03	Wenn die Bestrahlung des Pflanzenblattes mit UV-Licht eine Verbrennung von nahezu 40% der Blattoberfläche bewirkt, dann muss UV-Strahlung energiereicher und somit gefährlicher sein als die anderen beiden Strahlungsquellen.	k:16 f:2	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_1C.04	Wenn man den Abstand zwischen IR- und VIS- Lampe zum Pflanzenblatt halbiert, dann entspricht die Verbrennung des Pflanzenblattes auch nahezu der bei UV-Licht.	k:17 f:1	k:17 f:1	Keine Veränderung
NAW_2A.01	<i>Wenn man Plättchen zwischen Strahlungsquelle und Sensor anbringt, wird immer Strahlung absorbiert.</i>	k:14 f:4	k:13 f:5	Verschlechterung
NAW_2A.02	Wenn man Quarzglas als Absorber verwendet, kommt weniger Strahlung an.	k:15 f:3	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_2A.03	Wenn man alle vier Probematerialien aneinanderreicht, dann kommt bei allen Strahlungen nichts mehr am Sensor an.	k:1 f:17	k:8 f:10	Verbesserung / verbesserungs- würdig

NAW_2A.04	Wenn man fünf Plexiglas- oder PVC-Plättchen zwischen Strahlungsquelle und Sensor anbringt, kommt trotzdem noch Strahlung am Sensor an.	k:4 f:14	k:6 f:12	Verbesserung / verbesserungs- würdig
NAW_2A.05	Transmission von Fensterglas und UV-A-Strahlung bei ca. 85%.	k:12 f:6	k:13 f:5	Verbesserung
NAW_2A.06	Transmission von Plexiglas und UV-B-Strahlung bei ca. 0%.	k:16 f:2	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_2A.07	Transmission von PVC und UV-C-Strahlung bei ca. 2%.	k:15 f:3	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_2A.08	Transmission von Quarzglas und allen UV-Strahlungen bei ca. 75-95%.	k:2 f:16	k:5 f:13	Verbesserung / verbesserungs- würdig
NAW_2A.09	Begründen Sie bitte kurz, wer von Ihnen beiden Recht hat.	D:1,88	D:1,77	Verbesserung
NAW_3.01	Stellen Sie vor der Versuchsdurchführung mit Hilfe der nachstehenden Begriffe sieben Hypothesen zum UV-Schutz (z.B. Je größer der Baum, desto länger der Schatten) auf!	D:6,05	D:6,55	Verbesserung
NAW_3.02	Beschreiben Sie bitte im Folgenden ihr Experiment. Versuchen Sie, jeden ihrer geplanten Arbeitsschritte zu begründen.	D:1,77	D:1,33	Verbesserung
NAW_3.03	Leiten Sie auf Basis der vorangegangenen Aufgaben ab, welche Konsequenzen das ungehinderte Auftreffen der UV-Strahlung auf die Erde für Menschen, Tiere und Pflanzen besitzen.	D:2,16	D:1,83	Verbesserung
NAW_4.01	Versuchen Sie mit eigenen Worten die beiden Diagramme zu interpretieren.	D:2,11	D:1,88	Verbesserung
NAW_4.02	Erläutern Sie Schutzmaßnahmen vor Hautkrebs, die der Dermatologe seinen Patienten – u.a. auf Grundlage der oben stehenden Diagramme – empfiehlt.	D:2,05	D:1,72	Verbesserung
NAW_5.01	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit zunehmender Ozonkonzentration an.	k:16 f:2	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.02	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit zunehmender Ozonkonzentration gleich.	k:16 f:2	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.03	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit zunehmender Ozonkonzentration ab.	k:16 f:2	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.04	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt bei zunehmender Ozonkonzentration zunächst zu, aber nachdem der Repräsentanzwert erreicht wird, wieder ab.	k:14 f:4	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.05	Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während der Ozonherstellung an, den Sie erwarten würden?	k:5 f:13	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.06	Begründen Sie bitte kurz Ihre letzte Antwort:	k:6 f:12	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_6.01	Geplante Durchführung:	D:2,66	D:1,61	Verbesserung
NAW_6.02	Erwartete Beobachtung:	D:2,66	D:1,77	Verbesserung
NAW_6.03	Warum ist gerade das von Ihnen geplante Experiment in der Lage, die Hypothese zu stützen bzw. zu bestätigen?	D:2,61	D:1,61	Verbesserung
NAW_7.01	FCKWs sind unter Berücksichtigung dieses Verbots keine Ozon-schädigenden Substanzen, im Sinne dieser Abkommen.	k:17 f:1	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_7.02	Einem Bademeister ist es gestattet, das Badewasser zu chlören und Eis aus Kühltruhen (mit FCKW-Anteil) zu verkaufen.	k:10 f:8	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_7.03	Spraydosen und Kühlmittel, die FCKW enthalten, dürfen unter Berücksichtigung des Verbots nicht verwendet werden und müssen fachgerecht entsorgt werden.	k:17 f:1	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_7.04	Versuchen Sie, mit eigenen Worten die beobachteten Satellitenbilder (siehe Abbildung) vor dem Hintergrund des	D:2,61	D:2,22	Verbesserung

	Protokolls von Montreal zu interpretieren.			
NAW_7.05	Versuchen Sie, mit eigenen Worten die gemessenen Daten (siehe Tabelle) vor dem Hintergrund des Montrealer Protokolls zu interpretieren.	D:2,77	D:2,11	Verbesserung
NAW_7.06	Welches Szenario erwarten Sie für die Ozonschicht in den kommenden Jahren? Begründen Sie bitte kurz ihre letzte Antwort.	D:2,22	D:1,77	Verbesserung
NAW_7.07	Löcher in der Ozonschicht werden größer durch FCKWs.	k:18 f:0 o:0	k:18 f:0 o:0	keine Veränderung
NAW_7.08	Löcher in der Ozonschicht werden größer durch die Emission von Kohlendioxid.	k:5 f:9 o:4	k:14 f:1 o:3	Verbesserung
NAW_7.09	<i>Ozon kommt außer in der Stratosphäre auch in Bodennähe vor.</i>	k:11 f:7 o:0	k:10 f:6 o:2	Verschlechterung
NAW_7.10	UV-, Licht- und IR-(Wärme)strahlen sind gleich.	k:18 f:0 o:0	k:18 f:0 o:0	keine Veränderung
NAW_7.11	Es wird wärmer durch weniger Ozon.	k:10 f:7 o:1	k:17 f:1 o:0	Verbesserung
NAW_7.12	Sonnenstrahlen kommen durch Ozonlöcher zur Erde hindurch und erwärmen sie.	k:11 f:7 o:0	k:13 f:4 o:1	Verbesserung
NAW_7.13	UV-Strahlung besitzt mehr Energie als sichtbares Licht und IR-Strahlung.	k:13 f:2 o:3	k:16 f:1 o:1	Verbesserung
NAW_7.14	Mehr UV-Strahlen gelangen durch die Ozonlöcher, auch sind UV-Strahlen heißer als IR-(Wärme)strahlen.	k:12 f:4 o:2	k:17 f:1 o:0	Verbesserung
NAW_7.15	Aerosolsprays und Deodorants tragen durch die Zerstörung der Ozonschicht zur globalen Erwärmung bei.	k:5 f:11 o:2	k:11 f:4 o:3	Verbesserung / verbesserungs- würdig
NAW_7.16	Ozon steuert die Erdtemperatur.	k:10 f:5 o:3	k:14 f:2 o:2	Verbesserung / verbesserungs- würdig
NAW_7.17	Ozon schützt die Erde vor saurem Regen.	k:8 f:2 o:8	k:11 f:2 o:5	Verbesserung / verbesserungs- würdig
NAW_7.18	Ozon absorbiert (filtert) UV-Strahlung.	k:15 f:3 o:0	k:17 f:0 o:1	Verbesserung
NAW_7.19	<i>FCKWs zerstören Ozonmoleküle in der Atmosphäre.</i>	k:1 f:17 o:0	k:1 f:17 o:0	Keine Veränderung
NAW_7.20	Eine Ursache der Ozonzerstörung sind Autoabgase in der Atmosphäre.	k:3 f:14 o:1	k:10 f:6 o:2	Verbesserung / verbesserungs- würdig
NAW_7.21	<i>Die Verwendung einiger elektrischer Geräte im Haushalt (z.B. Kühlschrank, Klimaanlage) verursacht die Zerstörung von Ozon.</i>	k:9 f:8 o:1	k:8 f:8 o:2	Verschlechterung
NAW_7.22	Ozonabbau ist auf die Abgase und weiteren Verschmutzungen von Fabriken zurückzuführen	k:6 f:11 o:1	k:9 f:4 o:5	Verbesserung / verbesserungs- würdig
NAW_7.23	Der auf einem Sonnenmittel angegebene Lichtschutzfaktor gibt an, wie stark UV-Strahlung von diesem absorbiert	k:11 f:4	k:15 f:3	Verbesserung

	(gefiltert) wird.	o:3	o:0	
NAW_7.24	Wenn die Löcher in der Ozonschicht noch größer werden, dann wird der Treibhauseffekt noch schlimmer.	k:8 f:5 o:5	k:15 f:1 o:2	Verbesserung
NAW_7.25	Der Treibhauseffekt wird durch eine zu hohe Ozonkonzentration in Bodennähe verstärkt.	k:6 f:3 o:9	k:13 f:3 o:2	Verbesserung
NAW_7.26	Löcher in der Ozonschicht verstärken den Treibhauseffekt.	k:9 f:5 o:4	k:13 f:2 o:3	Verbesserung
NAW_7.27	Eine verringerte Anzahl von Ozonmolekülen in der Stratosphäre (ca. 22km über der Erdoberfläche) wird den durch den Treibhauseffekt verursachten Temperaturanstieg verstärken.	k:13 f:2 o:3	k:13 f:4 o:1	Verbesserung
NAW_7.28	Ein Grund für die Ausdünnung bzw. Zerstörung der Ozonschicht ist der verstärkte Treibhauseffekt.	k:12 f:2 o:4	k:13 f:4 o:1	Verbesserung
NAW_7.29	Der Treibhauseffekt wird durch die Emission von FCKWs verschlimmert.	k:5 f:10 o:3	k:11 f:1 o:6	Verbesserung / verbesserungs- würdig
NAW_7.30	<i>Wenn der Treibhauseffekt stärker wird, dann bekommen mehr Menschen Hautkrebs.</i>	k:15 f:2 o:1	k:14 f:3 o:1	Verschlechterung
NAW_7.31	<i>Der Treibhauseffekt kann durch die verstärkte Nutzung von Atomkraftwerken statt Kohlekraftwerken verringert werden.</i>	k:10 f:6 o:2	k:9 f:8 o:1	Verschlechterung
NAW_7.32	<i>Der Treibhauseffekt kann durch die Verwendung von bleifreiem Benzin verringert werden.</i>	k:7 f:5 o:6	k:5 f:5 o:8	Verschlechterung
NAW_7.33	<i>Wenn es keinen Treibhauseffekt gäbe, gäbe es kein Leben auf der Erde.</i>	k:16 f:0 o:2	k:10 f:8 o:0	Verschlechterung
NAW_7.34	Wenn der Treibhauseffekt verstärkt wird, wird es mehr Erdbeben geben.	k:10 f:3 o:5	k:12 f:3 o:3	Verbesserung
NAW_7.35	Wenn der Treibhauseffekt verstärkt wird, werden Nutzpflanzen stärker von Käfern und Schädlingen befallen.	k:10 f:3 o:5	k:16 f:0 o:2	Verbesserung
NAW_7.36	Wenn alle Fahrzeuge mit Katalysatoren ausgestattet wären, würde der Treibhauseffekt reduziert werden.	k:17 f:0 o:1	k:17 f:0 o:1	keine Veränderung

Tabelle 17: Test zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen – Ergebnisse im Pre-Post-Vergleich der Interventionsgruppe 1 (k: korrekte Antwort, f: falsche Antwort, o: weiß nicht, D: Durchschnitt)

Zwar konnten bei manchen Items Verbesserungen festgestellt werden, dennoch ist die Forscherin der Meinung, dass sich hier noch ein größeres Potential verbirgt (Schlussfolgerung verbesserungswürdig).

Ein Vergleich der Pre-Post-Ergebnisse aus Tab.15 sowie ein anschließendes Gespräch mit den an der Intervention 1 involvierten Akteuren ergeben folgendes Fazit:

- NAW\_1A.01: In einem Gespräch mit den Schülern stellte sich heraus, dass diese die Angaben nicht sorgfältig genug gelesen haben.

- NAW\_1B.01: Die Verschlechterung ist auf ein nicht genaues, unkonzentriertes Ablesen aus den gegebenen Tabellenwerten zurückzuführen bzw. impliziert die Abänderung oder Ergänzung des Experiments 1 um die Variation des Abstandes zwischen Lichtquelle und Objekt. Ferner liegt die Vermutung nahe, dass die Probanden mit dem Begriff der Proportionalität nicht vertraut sind. Letzterem stimmten die Gymnasiasten zu.
- NAW\_1B.02: siehe Begründung zu NAW\_1B.01
- NAW\_1C.02: siehe Begründung zu NAW\_1B.01/02, induziert die Aufarbeitung des Sachverhalts in den Experimenten 1 und 2
- NAW\_2A.01/03/04/08: Aufarbeitung des Sachverhalts in Experiment 3, unpräzises Arbeiten mit den dargebotenen Informationen. Nach Meinung der Schüler fehlt ein lebensnaher Bezug in der Aufgabenstellung bzw. die Komplexität des Arbeitens mit einem Modell scheint zu überfordern.
- NWA\_7.09: Sachverhalt des bodennahen Ozons bzw. Sommersmog ist den Studienteilnehmern nicht bekannt; Aufarbeitung dieser Thematik in einem weiteren Experiment bzw. Verzicht auf eine weitere Vertiefung des Aspektes.
- NAW\_7.19: Der Begriff FCKW scheint den Schülern nicht vollständig bekannt zu sein, d.h. über die konkrete Zusammensetzung (Fluorchlorkohlenwasserstoff), aber auch die Quellen der einzelnen Moleküle besteht keine gesicherte Kenntnis. Im Experiment wird lediglich Dichlormethan als ein FCKW-symbolisierender Ersatz verwendet. Folglich sollte laut Auskunft der Geographielehrer eine genauere Erklärung des FCKW-Begriffs geleistet werden.
- NAW\_7.21: Auch, wenn FCKWs verboten sind, existieren nach wie vor irdische Quellen, die die Ozon-Zerstörung verursachen. Es bietet sich auf Vorschlag einer Kollegin an, derartige Quellen zu benennen und diese im täglichen Leben und Handeln zu verankern (z.B. Chlora des Wassers im Schwimmbad; Kläranlagen, u.a.)
- NAW\_7.30/31/32/33: Eine klare Differenzierung zwischen der Ozon-Thematik und dem Treibhauseffekt ist bei den meisten Studienteilnehmern verinnerlicht, dennoch zeigen die Ergebnisse,
  1. dass Hautkrebserkrankungen mit dem Treibhauseffekt in Verbindung gebracht werden. Eine Optimierung dieser Antwort könnte in Experiment 3 aufgearbeitet werden.
  2. dass die anthropogenen Ursachen des Treibhauseffektes nicht umfassend aufgearbeitet worden sind. Gerade im Zuge von atomaren Katastrophen, wie in Fukushima, scheint das Ausmaß eines AKW-Unglücks nicht nur Verstrahlung, sondern auch fälschlicherweise CO<sub>2</sub>-Emissionen und somit eine Verstärkung des Treibhauseffektes hervorzurufen. Obwohl im Falle eines Reaktorunglücks AKWs nachhaltige Schädigungen hervorrufen, sollte die CO<sub>2</sub>-neutrale Energiegewinnung betont werden.
  3. dass Autoabgase zwar zum Treibhauseffekt beitragen, jedoch nicht nach Zusammensetzung und Qualität des Treibstoffes weiter unterschieden wird.
  4. dass die Schüler die Unterscheidung des natürlichen Treibhauseffektes vom anthropogen verursachten Treibhauseffekt nicht kennen. Auch scheint ihnen unbekannt zu sein, dass durch den natürlichen Treibhauseffekt die globale Durchschnittstemperatur Werte annimmt, die ein Leben auf der Erde ermöglichen.

Die Aufgaben 1 und 2 sowie die Fragen zur Versuchsauswertung in Aufgabe 5 und 6 als auch die Interpretation der Satellitenbilderabfolge aus Aufgabe 7 stellten für die Studienteilnehmer die größte Herausforderung dar.

Die im Test zur Erfassung von naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen verwendeten Aufgaben lassen sich den Skalen Hypothese, Experiment und Schlussfolgerung zuordnen. Differenziert nach dieser Einteilung ergeben sich im Pre-Post-Vergleich folgende Werte:

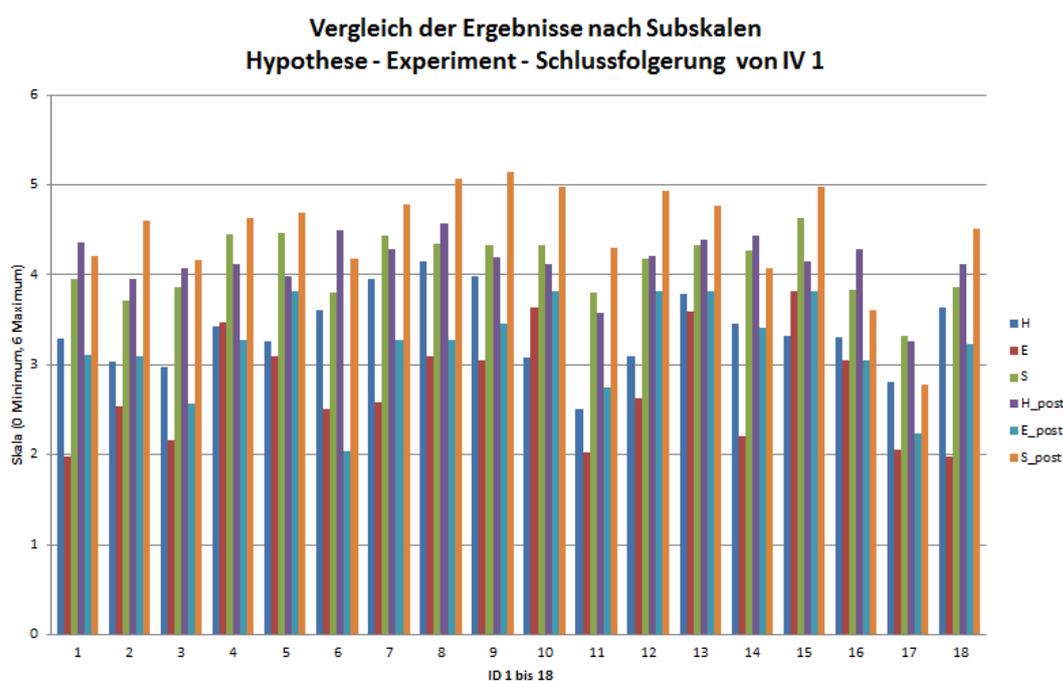


Abbildung 22: Ergebnisse der Subskalen im Pre-Post-Vergleich von IVG 1

ID	Hypothese pre	Experiment pre	Schlussfolgerung pre	Hypothese post	Experiment post	Schlussfolgerung post
1	3,288263	1,983376	3,956706	4,355942	3,110439	4,202755
2	3,027459	2,529545	3,715216	3,956672	3,098371	4,600673
3	2,96706	2,161474	3,863058	4,06889	2,566761	4,163994
4	3,432624	3,462899	4,456543	4,110929	3,280013	4,630769
5	3,25466	3,099617	4,457543	3,97862	3,818902	4,691877
6	3,611826	2,509145	3,807515	4,488252	2,032659	4,181881
7	3,950469	2,577583	4,436304	4,280834	3,281258	4,784323
8	4,143143	3,099617	4,341437	4,563442	3,281258	5,06912
9	3,977707	3,055122	4,322897	4,19881	3,45811	5,147154
10	3,07852	3,637261	4,32229	4,115317	3,818902	4,973743
11	2,504007	2,020784	3,797589	3,577762	2,742368	4,302187
12	3,09735	2,62691	4,172175	4,210031	3,818902	4,930465
13	3,781429	3,592767	4,325384	4,393538	3,818902	4,758761
14	3,459773	2,209512	4,267589	4,431133	3,41237	4,076713
15	3,322082	3,818902	4,63616	4,149894	3,818902	4,973743
16	3,300662	3,055122	3,833805	4,280834	3,055122	3,608735

17	2,810089	2,060417	3,323696	3,257126	2,242058	2,778047
18	3,631267	1,979833	3,867629	4,110847	3,235518	4,514848

Tabelle 18: Skalen Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung Pre-Post – Interventionsgruppe 1  
(Erklärung: 0 = minimaler Wert, 6 = maximale Wert)

Die Skalen Hypothese und insbesondere Experiment zeigen bei allen Studienteilnehmern eine deutliche Verbesserung. Ein ähnliches Ergebnis ist bei Betrachtung der Skala Schlussfolgerung zu erkennen, wobei ID 16 und ID 17 Ausnahmen bilden. Beide Studienteilnehmer verschlechterten sich im Post-Test in den Items, die sich mit der Skala Schlussfolgerung auseinandersetzen.

## 1.2 Motivationale Begleitforschung

Am Tag der Intervention und unmittelbar vor Beginn der Bearbeitung der einzelnen Experimente füllten alle Studienteilnehmer den Fragebogen zur Erfassung der Aktuellen Motivation (FAM) aus. Dabei erstreckte sich das Antwortschema von „1 – trifft zu“ bis „7 – nicht zu“. Die einzelnen Items erfassen Tendenzen hinsichtlich der Bereiche Interesse (I), Erfolgswahrscheinlichkeit (E), Misserfolgsbefürchtung (M) und Herausforderung (H). Folgende Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen ( $\sigma$ ) sind der nachfolgenden Übersicht zu entnehmen:

Nr. Item	Bereich	MW	$\sigma$
01. Ich mag Experimente und das Experimentieren an sich.	I	1,94	1,349
02. Ich glaube, der Schwierigkeit der Experimente gewachsen zu sein.	E	2,22	1,395
03. Wahrscheinlich werde ich die Experimente nicht schaffen.	E	5,88	1,450
04. Bei experimentellen Aufgaben mag ich es, die Lösung auszutüfteln.	I	2,88	1,131
05. Ich fühle mich unter Druck, bei Experimenten gut abschneiden zu müssen.	M	5,05	1,731
06. Experimente sind eine richtige Herausforderung für mich.	H	4,05	1,433
07. Nach dem Lesen der Anleitung erscheinen mir diese Experimente sehr interessant.	I	2,88	1,490
08. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	H	3,72	1,274
09. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich beim Experimentieren blamieren könnte.	M	5,88	1,490
10. Ich bin fest entschlossen, mich bei den Experimenten voll anzustrengen.	H	2,83	1,382
11. Bei Experimenten wie diesen, brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	I	2,77	1,352
12. Es ist mir etwas peinlich, hier beim Experimentieren zu versagen.	M	5,55	1,616
13. Ich glaube, das Experiment kann jeder schaffen.	E	1,83	0,785
14. Ich glaube, ich schaffe die Experimentiererei nicht.	E	6,61	0,607
15. Wenn ich das Experiment schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.	H	3,44	1,247
16. Wenn ich an die weiteren Experimente denke, bin ich etwas beunruhigt.	M	6,22	0,878
17. Solche Experimente würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	I	5,61	1,289

---

**18. Die konkreten Leistungsanforderungen des Experiments lähmen mich.** M 6,16 1,504
 

---

Tabelle 19: FAM - Interventionsgruppe 1

Fasst man die oben genannten Items in die einzelnen Bereiche zusammen, so ergeben sich folgende Mittelwerte („1 trifft zu“ bis „7 trifft nicht zu“):

Bereich	MW	Anmerkungen und Deutungen
<b>Erfolgswahrscheinlichkeit mit Item 3 und 14</b>	2,02 4,13	Die Studienteilnehmer rechnen mit einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit, wie die Werte der jeweiligen Items erkennen lassen. Ein MW von 4,13 scheint dies zunächst nicht zu zeigen, denn: Item 3 und Item 14 sind negativ gerichtet. Eine Anpassung der beiden Items ergibt unter Berücksichtigung der Items 3 und 14 einen deutlich positiven Trend des MW. Auffällig ist die geringe Standardabweichung bezüglich der Items 13 und 14, womit sich die Teilnehmer darüber einig sind, dass jeder und man auch selbst das Experiment schaffen kann.
<i>Item-Nr.13</i>	1,83	
<i>Item-Nr.02</i>	2,22	
<i>Item-Nr.03</i>	5,88	
<i>Item-Nr.14</i>	6,61	
<b>Misserfolgsbefürchtung</b>	5,77	Mit einem MW von 5,77 ist die Misserfolgsbefürchtung unter den Schülern gering ausgeprägt. Weder von Seiten der Mitschüler noch der Lehrkraft oder der Forscherin gehen Unruhe, Leistungsdruck oder gar angstinduzierende Elemente aus. Die Arbeitsatmosphäre wird als angst- und stressfrei empfunden.
<i>Item-Nr.05</i>		
<i>Item-Nr.12</i>	5,05	
<i>Item-Nr.09</i>	5,55	
<i>Item-Nr.18</i>	5,88	
<i>Item-Nr.16</i>	6,16 6,22	
<b>Interesse</b>	2,61 (ohne*) 3,21 (mit*)	Das Interesse an Experimenten und der Spaß am Experimentieren sowie am experimentellen Finden der Lösung an sich sind unter den Probanden gut ausgeprägt, jedoch lassen die Antworten erkennen, dass die Thematik der Experimente noch nicht interessant genug erscheint, um eine Auseinandersetzung auch in der Freizeit zu veranlassen. Ohne das Item 17 würde der Mittelwert zum Interesse noch positiver ausfallen.
<i>Item-Nr.01</i>	1,94	
<i>Item-Nr.11</i>	2,77	
<i>Item-Nr.04</i>	2,88	
<i>Item-Nr.07</i>	2,88	
<i>Item-Nr.17*</i>	5,61	
<b>Herausforderung</b>	3,51	Der MW von 3,51 kann als durchschnittlich aufgefasst werden. Item 10 zeigt den Willen der Studienteilnehmer, sich engagiert den Experimenten zu widmen. Aspekte, wie z.B. Stolz und Leistungsorientierung nehmen eine untergeordnete Position ein.
<i>Item-Nr.10</i>		
<i>Item-Nr.15</i>	2,83	
<i>Item-Nr.08</i>	3,44	
<i>Item-Nr.06</i>	3,72 4,05	

Tabelle 20: FAM nach Bereichen - Interventionsgruppe 1

Mit Ausnahme der Items 13, 14 und 16 zeigen die berechneten Standardabweichungen ein Ergebnis von größer als 1, womit zunächst eine große Streuung der Antworten abzuleiten ist. Eine genaue Betrachtung der einzelnen Aussagen der IVG 1 zeigt, dass aufgrund der Größe von 18 Probanden z.T. nur zwei bis drei von der Gesamtgruppe extrem abweichende Antworten genügen, um eine derartig große Abweichung zu induzieren (siehe Standardabweichungen).

Nachdem die Studienteilnehmer die ersten drei Experimente der Intervention abgeleistet haben, bearbeiteten diese den Fragebogen zur Flow-Kurz-Skala (FKS) sowie zur Erfassung des motivationalen Zustands. Die einzelnen Items der FKS erfassen die Bereiche Absorbiertheit (A) und Glatter Verlauf (G). Erneut erstreckte sich das Antwortschema von „1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“.

Die Ergebnisse sind der folgenden Übersicht zu entnehmen:

Nr. Item	Bereich	MW	$\sigma$
01. Ich fühle mich im Experiment optimal beansprucht.	A	2,72	1,017
02. Meine Gedanken bzw. Aktivitäten während des Experimentierens laufen flüssig und glatt.	G	2,16	0,923
03. Ich merke beim Experimentieren gar nicht, wie die Zeit vergeht.	A	2,61	1,500
04. Ich habe keine Mühe, mich beim Experimentieren zu konzentrieren.	G	1,94	1,304
05. Mein Kopf ist beim Experimentieren völlig klar.	G	2,00	0,970
06. Ich bin beim Experiment ganz vertieft in das, was ich gerade mache.	A	2,66	1,028
07. Die richtigen Gedanken/Handlungsschritte kommen beim Experimentieren wie von selbst.	G	1,72	0,958
08. Ich weiß bei jedem Schritt des Experiments, was ich zu tun habe.	G	1,72	0,894
09. Ich habe das Gefühl, den Ablauf des Experiments unter Kontrolle zu haben.	G	1,72	0,826
10. Ich bin beim Experimentieren völlig selbstvergessen.	A	4,27	1,637

Tabelle 21: Flow-Kurz-Skala - Interventionsgruppe 1

Fasst man die oben genannten Items in die einzelnen Bereiche zusammen, so ergeben sich folgende Mittelwerte („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“):

Bereich	MW	Anmerkungen und Deutungen
<b>Absorbiertheit</b>		
<b>Absorbiertheit ohne Item 10</b>	3,06	
	2,66	
<i>Item-Nr.03</i>		
<i>Item-Nr.06</i>	2,61	
<i>Item-Nr.01</i>	2,66	
<i>Item-Nr.10</i>	2,72	
	4,27	

Insgesamt befassen sich vier Items mit dem Bereich Absorbiertheit, wovon drei Items sehr positiv die Beanspruchung, den zeitlichen Verlauf und die konzentrierte Auseinandersetzung im Experiment werten. Item 10 hingegen besagt, dass eine Selbstvergessenheit nicht sonderlich stark erzielt wurde. Insgesamt sind die MW (mit und ohne Item 10) durchschnittlich bis positiv. Innerhalb der IVG 1 herrscht insgesamt ein differenziertes Meinungsbild hinsichtlich der empfundenen Absorbiertheit: alle Items liefern eine

		Standardabweichung von größer als 1,00.
<b>Glatter Verlauf</b>	1,87	Das Experimentieren an sich wird als sehr glatt, konzentriert und kontrolliert empfunden. Die Standardabweichungen von unter 1,00 mit Ausnahme von Item 4 zeigen eine deutliche Übereinstimmung der Schülereinschätzungen.
<i>Item-Nr.07</i>	1,72	
<i>Item-Nr.08</i>	1,72	
<i>Item-Nr.09</i>	1,72	
<i>Item-Nr.04</i>	1,94	
<i>Item-Nr.05</i>	2,00	
<i>Item-Nr.02</i>	2,16	

Tabelle 22: Flow-Kurz-Skala nach Bereichen - Interventionsgruppe 1

Der von den Studienteilnehmern bearbeitete Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes liefert folgende Ergebnisse („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“):

Nr. Item	Bereich	MW	$\sigma$
<b>01. Die Aufgabe macht mir noch Spaß.</b>	Aktueller Tätigkeitsanreiz	2,16	0,707
<b>02. Ich bin sicher, die richtige Lösung zu finden.</b>	Aspekt der Selbstwirksamkeit	1,94	0,998
<b>03. Ich habe keinerlei Schwierigkeiten, meine Gedanken beisammen zu halten.</b>	Erleben von anstrengungsfreier Konzentration	2,16	1,465
<b>04. Ich finde die Aufgabe anstrengend.</b>	Erleben von Anstrengung	5,83	1,653
<b>05. Mir ist klar, wie ich weiter vorgehen soll.</b>	Aspekt der Selbstwirksamkeit	2,00	1,137

Tabelle 23: Erfassung des motivationalen Zustandes - Interventionsgruppe 1

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten: Den Studienteilnehmerinnen und –teilnehmern macht die Bearbeitung der Experimente Spaß, die Handhabung der Materialien bereitet beim Experimentieren keine Probleme und die Versuchsbeschreibungen sind klar und deutlich formuliert, was das weiterführende Procedere anbelangt. Insgesamt scheint das inhaltliche und methodische Niveau der Experimente die Schüler weder zu über- noch unterfordern, auf Grundlage der Ergebnisse werden Erfahrungen zur Selbstwirksamkeit wahrgenommen.

Die Standardabweichungen von einem Wert von über 1,00 der Items 3,4 und 5 sind jeweils auf die Antworten von zwei Schülern der 18 Personen starken IVG 1 zurückzuführen, deren Einschätzung deutlich von dem der restlichen Gruppe geäußerten Wahrnehmung abweicht. Den genauen Ursachen für eine derartig gravierende Abweichung soll in der Gruppendiskussion mit den aktiv beteiligten Schülern nachgegangen werden.

### 1.3 Gruppendiskussion mit den an der Intervention aktiv beteiligten Schülern

Im direkten Anschluss an die 90-minütige experimentelle Interventionsphase erhielten die Studienteilnehmer die Möglichkeit, über die Chancen und Potentiale, aber auch Schwächen der Lehr-Lern-Umgebung zu diskutieren. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Zu Beginn der Intervention wurden den Studienteilnehmern die einzelnen thematischen Schwerpunkte erläutert und gesondert auf die in den Versuchen zu verwendende Materialien verwiesen. Es schien zunächst, dass sich die Thematiken der Einzelexperimente als weniger interessant und reizend für die Schülerinnen und Schüler erwiesen als erwartet.

Während des Experimentierens empfanden die Gymnasiasten sowohl die in den Aufgabenstellungen behandelten Themengebiete als auch die Tätigkeiten motivierend, zielführend und kurzweilig. Lobend wurde der hohe Grad an Anschaulichkeit der Experimente, der starke Realitätsbezug sowie die inhaltliche und optische Gestaltung der Begleitmaterialien genannt. Besonderen Gefallen fand die abwechslungsreiche Arbeit. Das schriftliche Formulieren, Planen und Festhalten von Messergebnissen sowie deren Interpretation nahm genau den richtigen Raum ein und gestaltete sich aufgrund der unterschiedlichen Aufgabenformate sehr abwechslungsreich.

Das Experiment zur Untersuchung der thermischen Wirkung und der energetischen Eigenschaften zeichnet sich den Schülern zufolge durch seine einfache Handhabung sowie die eindeutigen Ergebnisse aus und eignet sich, die Experimentierkultur einzuleiten. Allerdings könnte man die einzelnen Akteure noch stärker in die Messungen miteinbinden bzw. die Messergebnisse in ein anschaulicheres Format übertragen.

Positiv aufgenommen wurde der hohe Grad an Selbsttätigkeit im zweiten Experiment, bei dem die Wirkung von UV-Strahlung auf organische Körper nachgewiesen und mögliche Schutzkonzepte in der Gruppe erarbeitet werden sollen. Insbesondere der Vergleich der organischen Körper vor und nach der Bestrahlung hinterließ bei allen Schülern nachhaltige Eindrücke und führte dazu, dass das eigene Verhalten (z.B. im Sommer beim Baden) kritisch hinterfragt wurde. Es wurde ausdrücklich der Wunsch geäußert, weitere Schutzmaßnahmen auf deren Wirksamkeit experimentell zu überprüfen (z.B. UV-Schutzkleidung).

Das dritte Experiment überzeugt durch einen höheren methodischen Anspruch und eindeutige Messergebnisse als die beiden vorhergegangenen Versuche. Von Seiten der Schüler wurde kritisch angemerkt, dass man sich im ersten Experiment rein den thermischen Wirkungen der Strahlung widmet und sich im Gegenzug das dritte Experiment ausschließlich mit den energetischen Eigenschaften der UV-Strahlungsbereiche befassen sollte. Auf diese Art und Weise würde man Sachverhalte nicht doppelt untersuchen und das Schädigungspotential der UV-Strahlung noch deutlicher experimentell herausarbeiten. Das Anforderungsniveau des dritten Experiments sei zwar in Ordnung, jedoch die Aufgabenstellung recht selbsterklärend und biete wenig Anreiz für anderweitige Handlungsalternativen. Ein Schüler merkte an, dass im Experiment lediglich das Absorptionsverhalten von Festkörpern (unterschiedliche Glas- und Kunststoffplättchen) untersucht wird und mögliche absorbierende Eigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen eine ideale Ergänzung bieten könnten.

Als eine kleine, nicht gravierende Störung des Experimentierens, wurde von manchen Schülern die Bearbeitung der Fragebögen zur motivationalen Begleitforschung empfunden. Die Studienleiterin zeigte zwar Verständnis für den Wunsch nach konsequentem und unterbrechungsfreiem Experimentieren, jedoch traf der Verweis auf die Untersuchung der motivationalen Wirkungen der Lehr-Lern-Umgebung auf große Akzeptanz.

Größte Begeisterung riefen die Experimente 4 und 5 unter den Schülern hervor, da in der bisherigen schulischen Laufbahn weder Ozon hergestellt wurde noch die Schüler eine Idee hatten, wie man das wichtige Molekül unter Küchentischbedingungen auf simple Weise überhaupt erzeugen kann.

Als angenehm und sehr lehrreich wurde der methodische Wechsel vom Schüler- zum Demonstrationsexperiment charakterisiert, da so deutlich mehr Freiräume zum Mitdenken, Planen, Beobachten und Auswerten geboten sind. Einziger Kritikpunkt bestand in der langen Phase der Ozonherstellung: so könnte man auf Anraten der Jugendlichen zur Überbrückung die Lernenden evtl. in weitere Messungen einbeziehen.

Ähnliches äußerten die jungen Erwachsenen über das fünfte Experiment, welches das Ozonloch modellhaft simuliert.

Insgesamt betonten die Interventionsteilnehmer mehrmals, dass die Durchführung der Experimente großen Spaß gemacht habe und viele (neue) Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Des Weiteren wurde die Geographie erstmals als ein naturwissenschaftlich geprägtes Unterrichtsfach wahrgenommen und die Durchführung mit weiteren Gruppen könne bedenkenlos weiterempfohlen werden.

#### **1.4 Beobachtungen durch kooperierende Lehrer**

Im Wesentlichen bestätigen die Beobachtungen der kooperierenden Lehrer die Aussagen und gesammelten Eindrücke der an der Intervention involvierten Schüler.

Ergänzend sind folgende Anmerkungen von den Unterrichtspraktikern geäußert worden:

Die experimentelle Lehr-Lern-Umgebung besitzt durch die starke Schülerzentrierung das Potential, zur Eigentätigkeit anzuregen und Selbstständigkeit zu fördern. Auf Basis der Beobachtungen erlaubt die methodische Großform des Schülerexperiments eine großzügige Differenzierung innerhalb der Lerngruppe nach Leistungsniveau und Arbeitstempo, so dass die Freiräume in der Organisationstruktur weitere Förderungsmöglichkeiten bieten. Jedes in der Intervention enthaltene Experiment liefert authentisch und modellhaft einen sehr hohen Grad an Anschaulichkeit, wobei auch alle Sinneskanäle (visuell, auditiv, haptisch) beansprucht werden. Insbesondere die gelungene Veranschaulichung ermöglicht eine sehr exakte fachwissenschaftliche Kenntnis sowie eine fehlerfreie Vorstellung des Themas. Zum einen wird ein Zugang zu den Themen durch die experimentelle Lehr-Lern-Landschaft geschaffen, zum anderen fällt den Schülern das Lernen und Arbeiten durch die motivierende Einbeziehung ins Experimentiergeschehen leichter. Augenscheinlich ist bei einzelnen

Schülern eine gesteigerte Leistungsbereitschaft (im Vgl. zur sonstigen Mitarbeit im Unterrichtsalltag) bemerkbar.

Im Rahmen des Schülerexperiments werden die Inhalte ganzheitlich und mehrperspektivisch betrachtet: Neben vertieftem Erwerb von Fachwissen, abwechslungsreichen methodischen Denk- und Arbeitsweisen, werden die Stufen des Experiments in der Gruppe gemeinsam bewältigt.

Charakteristisch für die Arbeit im Experiment sind das ständige Aufwerfen von Hypothesen, deren Überprüfung mit anschließender Verifizierung bzw. Falsifizierung. Es werden in offener Kommunikation innerhalb der Gruppe (immer) neue Hypothesen formuliert und Variablen abgeändert, um das eigentliche Ziel zu erreichen. Um diese Arbeitsschritte erfolgreich zu bewältigen, müssen von den Schülern Strukturierungsarbeiten hinsichtlich des Inhalts, der Aufgabenverteilung innerhalb der Arbeitsgruppe und der Untersuchungsmethode geleistet werden.

Die Ergebnissicherung spielt beim Schülerexperiment eine übergeordnete Rolle: es werden im Rahmen der Experimente stets Beobachtungen, Abänderungen und Messungen festgehalten, die auch die Ergebnissicherung, die methodische Auswertung und deren graphische Darstellung umfassen.

### **1.5 Beobachtungen durch die an der Intervention passiv beteiligten Schülern**

Schüler, die den Pre-Test nicht bearbeitet haben, konnten die Umsetzungsphase durch gezielte Beobachtungen der Experimentiergruppe auf freiwilliger Basis begleiten. Mit Hilfe von Protokollationsbögen konnten diese ihre Eindrücke festhalten und das Experimentiergeschehen fotografisch, mit der von der Studienleiterin zur Verfügung gestellten Digitalkamera, dokumentieren (*siehe Anhang S.272-284*).

Die Fragen des Protokollationsbogens erstreckten sich auf die Merkmale Relevanz des Themas, Zeitempfinden, Selbsttätigkeit, Differenzierung, Veranschaulichung, Motivierung, Ganzheit, Zielorientierung, Strukturierung und Ergebnissicherung. Überdies bestand die Möglichkeit, subjektive Wahrnehmungen dem obigen Katalog zu ergänzen (*siehe Anhang S. 285-287*).

Ausnahmslos waren die Beobachtungen, der an der Intervention passiv beteiligten Schüler, deckungsgleich mit den Eindrücken der aktiven Studienteilnehmer und der Lehrer.

### **1.6 Beobachtungen der Studienleiterin**

Die Beobachtungen der Studienleiterin erfolgten sowohl aus der Perspektive einer unterrichtenden Lehrkraft als auch aus dem Blickwinkel einer hospitierenden Geographielehrerin.

Vom Standpunkt der Praktikerin erhalten die Beobachtungen der Schüler und Gymnasiallehrern folgende Ergänzungen:

Obwohl die Experimentierumgebung sehr umfangreich und aufwendig in der Durchführung erscheint, ist für die Bearbeitung der Experimente wie auch für die Erhebungsinstrumente zur motivationalen Begleitforschung ausreichend Zeit vorhanden. Somit können eventuelle Abänderungen der Experimente und der Begleitmaterialien aus zeitlichen Gründen ohne weiteres vorgenommen werden.

Ein wesentliches Merkmal des Schülerexperiments liegt in der Eigentätigkeit der Lernenden. Um eine hohe Eigenaktivität und Selbstständigkeit unter den Schülern sicherzustellen, müssen die Experimente in der Handhabung und Durchführung sicher sein und die Versuchsanleitung eindeutige Vorgaben beinhalten. Während der ganzen Intervention konnte sich die Studienleiterin mit Ausnahme des Demonstrationsexperiments zurücknehmen.

Im Laufe der Intervention zeigten sich manche Schüler vermehrt selbstbewusster (z.B. Variation des Versuchs aus eigenem Antrieb) und äußerst leistungsbereit sowie motiviert, die gestellten Anforderungen der Aufgaben zu erfüllen. Dabei vermittelten die Probanden den Eindruck, dass sowohl die Tätigkeit des Experimentierens an sich als auch das Erreichen des Ziels gleichermaßen eine motivierende Funktion einnehmen. Hinsichtlich des sozialen Miteinanders wechselten die Studienteilnehmer fortwährend untereinander die Arbeitsteams, um an den eigenen Bedürfnissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten orientierend den bestmöglichen Beitrag für das Gesamtteam zu leisten.

Im Wesentlichen greift bei den Experimenten 3 und 5 eine Kontrollfunktion. Somit liefern die Beobachtungen zu diesen beiden Experimenten weitere Auskünfte über die Optimierung der Lernervorstellungen und somit zu einem vertieften Fachwissen.

Aus Sicht der hospitierenden Geographielehrerin wird die Praktikabilität der Intervention und somit die Implementierung in die Unterrichtspraxis stark untermauert. Souverän absolvierten die Unterrichtspraktiker die experimentgestützte Lehr-Lern-Umgebung mit den Schülern, zeigten sich offen für weitere Handlungsalternativen und ergänzten aus dem Stegreif die in den Begleitmaterialien dargebotenen Informationen durch eigene Eindrücke und Wissen.

Lediglich die von Schülern und Lehrern geäußerten Forderungen nach größerer Aktivität in den Experimenten und nach weiteren Varianten werden als Optimierungsvorschlag aufgenommen, auf deren Grundlage eine weitere Überarbeitung der ersten Interventionskonzeption erfolgt.

## IV. Re-Designphase 1

Das Re-Design der ersten Interventionsphase erfolgt auf Basis der quantitativ und qualitativ erhobenen Daten. Dabei ergeben sich Optimierungen, die die einzelnen Experimente sowie die begleitenden Unterrichtsmaterialien betreffen. Sämtliche Überarbeitungen und Neuentwürfe durchlaufen einer Sichtung durch die an der Studie beteiligten Gymnasiallehrer. Nach Edelson leistet die Studie somit einen ersten Beitrag zu design solutions.

### 1. Kriterien zum Re-Design

In den vorangegangenen Kapiteln wurden z.B. die Erstellung und das Design der experimentgestützten situierten Lehr-Lern-Umgebung theoriebasiert erarbeitet und umfassend am Beispiel ausgewählter Kriterien begründet.

Die Re-Designphase widmet sich der Modifizierung der ersten Umsetzung. Im nachfolgenden Diagramm ist das grobe Gerüst für die dem Re-Design zu Grunde liegenden Kriterien aufgearbeitet:

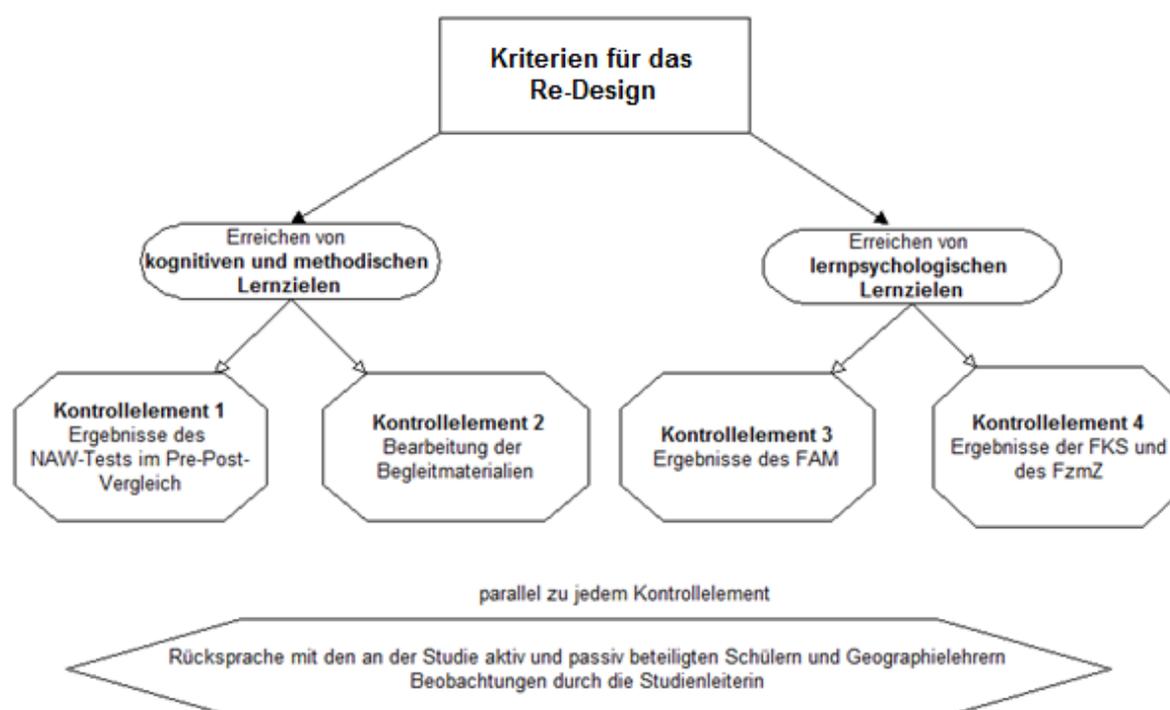


Abbildung 23: Kriterien der Re-Designphase einschließlich Kontrollelemente

In erster Linie wird der Frage nachgegangen, ob die anvisierten kognitiven und methodischen (Cluster 1) sowie lernpsychologischen Lernziele (Cluster 2) durch die erste Intervention erfüllt werden konnten. Als Kontrollelemente für das erste Cluster dienen die genaue Analyse der Ergebnisse des Tests zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnikkompetenz im Pre-Post-Vergleich sowie die Sichtung der durch die Schüler bearbeiteten Begleitmaterialien während der Intervention. Um die Fragestellungen zur motivationalen Begleitforschung zu beantworten, dienen

dem zweiten Cluster die Ergebnisse des Fragebogens zur Aktuellen Motivation, der Flow-Kurz-Skala sowie der Erfassung des motivationalen Zustands zur weiteren Klärung.

Parallel zur Untersuchung der beiden Cluster wird mit den an der Studie aktiv und passiv beteiligten Gymnasialschülern und Geographielehrern Rücksprache gehalten. Ein weiteres ergänzendes Kriterium für das Re-Design sind die Beobachtungen durch die Studienleiterin.

### **Kontrollelement 1: Test zur Erfassung des Fachwissens und der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnikkompetenz - Pre-Post-Vergleich**

#### *I. Betrachtung der Ergebnisse im Pre-Post-Vergleich:*

- Frage 1: Konnte der Studienteilnehmer seine Leistung (Punktescore absolut) verbessern?

z.B. Intervention 1: Alle Studienteilnehmer konnten ihre Leistungen im Post-Test steigern.

#### *II. Betrachtung der einzelnen Items nach Subskalen Hypothesenbildung, Experimentplanung und -durchführung sowie Schlussfolgerung im Pre-Post-Vergleich:*

- Frage 2: Konnte der Studienteilnehmer seine naturwissenschaftliche Arbeitstechnikkompetenz hinsichtlich der Hypothesenbildung verbessern?
- Frage 3: Konnte der Studienteilnehmer seine naturwissenschaftliche Arbeitstechnikkompetenz hinsichtlich der Experimentplanung und -durchführung verbessern?
- Frage 4: Konnte der Studienteilnehmer seine naturwissenschaftliche Arbeitstechnikkompetenz hinsichtlich der Schlussfolgerung verbessern?
- Frage 5: Welche Vorstellungen konnte der Studienteilnehmer korrigieren, optimieren bzw. erweitern?

z.B. Differenzierung nach

- Verbesserung in der Beantwortung des Items
- Verschlechterung in der Beantwortung des Items
- Beantwortung des Items ist verbesserungswürdig

Die Antworten auf die Fragen 2 bis 5 zeigen, dass tendenziell eine Verbesserung erreicht wurde, jedoch weiteres Optimierungspotential besteht.

Aus der genauen Betrachtung der einschlägigen Items (d.h. deren Beantwortung im Post-Test eine Verschlechterung erkennen lassen oder verbesserungswürdig erscheinen) als auch der gezielten Rücksprache mit den Studienteilnehmern und den Geographiekollegen werden Lösungsvorschläge anhand der nachstehenden Fragen abgeleitet:

*1. Wie kann man die Leistung des Studienteilnehmers steigern?*

*2. Wie kann man die naturwissenschaftliche Arbeitstechnikkompetenz des Studienteilnehmers im Hinblick auf Hypothesenbildung, Experimentplanung und -durchführung sowie Schlussfolgerung optimieren?*

Eine akribische Analyse der Interventionsphase 1 ergibt:

- die Schüler müssen bei der Bearbeitung des Erhebungsinstruments eine konzentriertere Arbeitshaltung einnehmen und Flüchtigkeitsfehler vermeiden
- manche Experimente müssen eine inhaltlich-methodische Abänderung erfahren:
  - inhaltliche Ergänzung durch die Aufarbeitung eines bisher unbekanntes Sachverhalts
  - inhaltliche Reduzierung der Komplexität eines Sachverhalts auf die Beschränkung eines zu untersuchenden Forschungsgegenstands
  - klare Abgrenzung eines inhaltlichen Gegenstands zu weiteren ähnlichen Themen
  - Aufarbeiten von Fragestellungen der Schüler (z.B. Herkunft des FCKW-Moleküls)
  - feinere Differenzierung und Abgrenzung des naturwissenschaftlichen Dreiklangs durch Erstellen weiterführender Teilaufgaben
  - Hilfestellung bei der Auseinandersetzung mit Modellen durch Herstellung von lebensnahen Alltagsbezügen und des Wiederaufgreifens in weiterführenden Thematiken; gegebenenfalls mündliche Hilfestellung durch die Lehrkraft
  - stärkere Schüleraktivierung durch vertiefte Einbindung in Messungen
  - Komplexität der gewonnenen Daten reduzieren, indem die Messergebnisse in ein anschaulicheres Format (z.B. Diagramme) übertragen werden und die Inhalte der Darstellung vergleichen
  - Beibehaltung der Versuchsmaterialien, jedoch Ergänzung um weitere Variationsmöglichkeiten und Verwendung lebensnaher tools (z.B. Smartphone zur Zeitmessung und fotografischen Dokumentation)
  - Handlungsaufforderungen und Erhöhung der Schüleraktivität: z.B. Konfrontation der Schüler mit einer Hypothese, d.h. die Schüler müssen eigenständig ein Experiment zur Überprüfung planen, aufbauen und durchführen zum Zwecke der Verifizierung bzw. Falsifizierung; Variation von Erarbeitungs-, Kontroll- und Bestätigungsexperiment
- vereinzelt haben Schüler Probleme mit Fachsprache
- optimale Gestaltung der Lerndauer vermeidet demotivierende Langeweile bzw. Zeitdruck

Die oben genannten Lösungsvorschläge werden im Re-Design der Experimente und den Begleitmaterialien berücksichtigt.

### **Kontrollelement 2: Bearbeitung der Begleitmaterialien**

Während der Intervention bearbeiteten die Schüler die ihnen zur Verfügung gestellten Begleitmaterialien. Dabei konzentrierten sich die Beobachtungen der Geographielehrer und der Studienleiterin auf den Bearbeitungsprozess während der aktiven Auseinandersetzung mit den Experimenten sowie auf die vollständig ausgefüllten Endprodukte. Eine genaue Analyse konzentrierte sich auf die äußere Form und inhaltlich-methodische Qualität der Bearbeitungsvorschläge und Ergebnissicherung während des Experimentierens.

Frage 1: Sind die Inhalte, methodischen Ansprüche und Arbeitsaufträge der Begleitmaterialien geeignet, den Studienteilnehmer während der Intervention materialgestützt zu führen?

Frage 2: Spiegeln die Antworten des Studienteilnehmers nach Absolvieren der Intervention das Erreichen der anvisierten Lernziele wider?

Die Sichtung ergab, dass die Schüler mit den Begleitmaterialien und den darin aufgezeigten Arbeitsaufforderungen sehr gut zurechtkamen, so dass grundsätzlich keine Optimierung notwendig erscheint.

Da jedoch eine Überarbeitung und Anpassung der Experimente 1-5 für die Umsetzungsphase 2 erfolgt, lauten nun die zielführenden Fragen:

1. *Welche Möglichkeiten bestehen, inhaltliche und methodische Modifizierungen in die Überarbeitung der Begleitmaterialien einfließen zu lassen?*
2. *Besitzen die überarbeiteten Begleitmaterialien die Qualität, die zu Grunde liegenden Experimente bestmöglich als Informationsquelle, Arbeitsauftrag und Ergebnisdokumentation zu begleiten?*

Die überarbeitete Fassung der Begleitmaterialien der Intervention 2 ist im *Anhang auf S. 245-256* einzusehen.

### **Kontrollelement 3: Ergebnisse des FAM – Fragebogen zur Aktuellen Motivation**

Die Ergebnisse aus der Auswertung des Fragebogens zu Aktuellen Motivation (FAM) entstanden unmittelbar nach der Konfrontation der Interventionsteilnehmer mit der experimentgestützten situierten Lehr-Lern-Umgebung, aber noch vor deren Ableistung.

#### *I. Betrachtung der Ergebnisse des FAM*

Frage 1: Ruft die Konfrontation mit der experimentgestützten situierten Lehr-Lern-Umgebung unter den Studienteilnehmern Interesse hervor?

Frage 2: Ruft die Konfrontation mit der experimentgestützten situierten Lehr-Lern-Umgebung unter den Studienteilnehmern eine Misserfolgserwartung hervor?

Frage 3: Ruft die Konfrontation mit der experimentgestützten situierten Lehr-Lern-Umgebung unter den Studienteilnehmern eine Erfolgswahrscheinlichkeit hervor?

Frage 4: Ruft die Konfrontation mit der experimentgestützten situierten Lehr-Lern-Umgebung unter den Studienteilnehmern eine Herausforderung hervor?

#### *II. Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Items des FAM nach den Subskalen Interesse, Herausforderung, Misserfolgserwartung, Erfolgswahrscheinlichkeit*

Frage 5: Wie stark ist die Ausprägung des Interesses der Studienteilnehmer gegenüber der situierten Lehr-Lern-Umgebung?

Frage 6: Wie stark ist die Ausprägung der Misserfolgserwartung der Studienteilnehmer gegenüber der situierten Lehr-Lern-Umgebung?

Frage 7: Wie stark ist die Ausprägung der Erfolgswahrscheinlichkeit der Studienteilnehmer gegenüber der situierten Lehr-Lern-Umgebung?

Frage 8: Wie stark ist die Ausprägung der Herausforderung der Studienteilnehmer gegenüber der situierten Lehr-Lern-Umgebung?

z.B. eine Differenzierung nach

- stark vorhandene Ausprägung
- durchschnittlich vorhandene Ausprägung
- kaum vorhandene Ausprägung

In der genauen Betrachtung der Schülerantworten sind die Aussagen von besonderer Bedeutung, die einer Optimierung bedürfen. Analog dem Vorgehen von Kontrollelement 1 und 2 werden Rücksprachen mit den Interventionsteilnehmern und Geographiekollegen gehalten.

Aus den vorhandenen Datenmaterialien lassen sich folgende Fragen ableiten:

*Wie lässt sich die Qualität und Stärke der Lernmotivation beeinflussen, d.h.*

1. *Wie lässt sich die Variable „Interesse (steigern)“ modifizieren?*
2. *Wie lässt sich die Variable „Misserfolgserwartung (minimieren)“ modifizieren?*
3. *Wie lässt sich die Variable „Erfolgswahrscheinlichkeit (erhöhen)“ modifizieren?*
4. *Wie lässt sich die Variable „Herausforderung (Vermeidung von Über- und Unterforderung bzw. Angst und Langeweile)“ modifizieren?*

Mögliche Lösungsvorschläge lauten:

*zu 1.: Interessensteigerung hervorrufen*

- Situation: Interesse an methodischer Großform Experiment induzieren, inhaltlichen und methodischen Anreiz am Experiment schaffen
- Handlung: Interesse am naturwissenschaftlichen Dreiklang Hypothesenformulierung, Experiment planen und durchführen sowie Schlussfolgerung fördern; Experimentieren als Handlung steht im Vordergrund zur Lösung eines Problems, nicht die externe Belohnung
- Ergebnis: Schlussfolgerung steht im Vordergrund, die anfangs formulierten Ziele müssen experimentell erreicht werden und von möglichst eindeutiger Natur sein
- Folgen: weitere Auseinandersetzung mit Experimentiersituationen auch in der Freizeit, Realitätsbezug unterstreicht die Relevanz der Experimente

*zu 2.: Misserfolgserwartung minimieren*

- Situation: Leistungsthematischer Anreiz darf weder über- noch unterfordern, Wahl der Interventionsteilnehmer soll selbstständig erfolgen, um Leistungsdruck zu minimieren – Vermeidung von rivalisierendem Konkurrenzdenken, dafür wird eine gegenseitige Unterstützung angenommen
- Handlung: klare Strukturiertheit hinsichtlich Inhalt und methodischem Vorgehen, Vermeidung von Langeweile oder Überforderung, gegenseitige Unterstützung durch Peer-Group, Misserfolgserwartung lässt sich eher vermeiden, wenn kein Druck von außen (z.B. Lehrer, Studienleiterin) spürbar ist
- Ergebnis: Ziele der Experimente müssen erreichbar sein, die eigene Leistung, aber auch die im Team gemeinsam erarbeitete Leistung, ist wichtig
- Folgen: kein Blamieren über eigene Leistung oder Team-Leistung

*zu 3: Erfolgswahrscheinlichkeit erhöhen*

- Situation: erfolgreiches Ableisten der Intervention muss für den einzelnen Teilnehmer und das gesamte Team bzw. weitere Probanden möglich sein; inhaltliche und methodische Gestaltung der Experimente darf weder über- noch unterfordern
- Handlung: Experimentieren muss klar sein im Vorgang, aber Freiräume erlauben und auf keinen Fall über- noch unterfordern
- Ergebnis: Ziele müssen persönlich aber auch für andere Teilnehmer zu erreichen sein
- Folgen: Sinn und Vorgehensweise des Experiments müssen verstanden werden; Anwendung in weiteren Kontexten möglich

*zu 4: Herausforderung*

- Situation: inhaltliche und methodische Präsentation des Experiments soll als Antriebsfeder zur Lösung eines Problems verstanden werden
- Handlung: Experimente als Chance zur Lösung eines Problems erkennen, nicht als Belastung; Anstrengungsbereitschaft und Durchhaltevermögen unter den Schülern wecken
- Ergebnis: Herausforderung gestellt und alles problemlos bis ans Ende abgeleistet
- Folgen: Bereitschaft, sich weiteren Herausforderungen zu stellen (in weiteren Anwendungskontexten)

Für die Umsetzungsphase 2 gilt:

Sowohl die Präsentation (z.B. Gestaltung der Experimentiertische, Verwendung von originellen Gegenständen) und die Anmoderation der Experimente müssen die Qualität und Stärke der Lernmotivation positiv beeinflussen. Konkret bedeutet dies

- Kompetenzerleben und Selbstwirksamkeit stärken
  - einen leistungsthematischen Anreiz schaffen und mittleren Schwierigkeitsgrad wählen: Inhalt und Methodik der Experimente interessant und klar strukturiert gestalten, sowohl Über- (=Frustration) als auch Unterforderung (=Langeweile) vermeiden, Realitätsbezug untermauern durch Verwendung von Originalgegenständen und Dokumentations- und Messinstrumenten wie das Smartphone, sicheres Absolvieren des naturwissenschaftlichen Dreiklangs mit klar erfülltem Ziel, Anreiz stärken, derartige Experimente ohne externe Belohnung auch in der Freizeit durchzuführen, d.h. Schüler müssen erkennen: Experimente als Chance zur Lösung eines Problems, nicht als Belastung; Anstrengungsbereitschaft und Durchhaltevermögen führen zum Ziel
  
- Soziale Eingebundenheit stärken
  - weitestgehend eigenständige Wahl der Experimentierpartner um gegenseitige Unterstützung zu forcieren und Konkurrenzdenken zu unterbinden, Vermeidung eines Leistungsdrucks

#### **Kontrollelemente 4 und 5: Ergebnisse der Flow-Kurz-Skala (FKS) und des Fragebogens zur Erfassung des motivationalen Zustandes (FzmZ)**

Zur Überprüfung des motivationalen Zustandes während der Ableistung der experimentgestützten situierten Lehr-Lern-Umgebung dienen die Ergebnisse aus den beiden eingesetzten Erhebungsinstrumenten.

##### *I. Betrachtung der Ergebnisse der FKS und des FzmZ*

Frage 1: Empfinden die Studienteilnehmer eine Absorbiertheit im Sinne des Flow-Erlebens?  
 Frage 2: Empfinden die Studienteilnehmer einen glatten Verlauf im Sinne des Flow-Erlebens?  
 Frage 3: Empfinden die Studienteilnehmer einen aktuellen Tätigkeitsanreiz?  
 Frage 4: Empfinden die Studienteilnehmer den Aspekt der Selbstwirksamkeit?  
 Frage 5: Erleben die Studienteilnehmer eine anstrengungsfreie Konzentration?  
 Frage 6: Erleben die Studienteilnehmer eine Anstrengung?

##### *II. Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Items der FKS nach den Subskalen Glatter Verlauf und Absorbiertheit sowie die weiteren Subskalen des FzmZ*

Frage 7: Fühlen sich die Studienteilnehmer im Experiment optimal beansprucht?  
 Frage 8: Bemerkten die Studienteilnehmer nicht, wie die Zeit vergeht?

Frage 9: Sind die Studienteilnehmer im Experiment vertieft in das, was sie gerade machen?

Frage 10: Sind die Studienteilnehmer völlig selbstvergessen in das, was sie gerade machen?

Frage 11: Macht den Studienteilnehmern die Aufgabe Spaß?

Frage 12: Sind sich die Studienteilnehmer sicher, die richtige Lösung zu finden?

Frage 13: Haben die Studienteilnehmer keinerlei Probleme, ihre Gedanken beisammen zu halten?

Frage 14: Empfinden die Studienteilnehmer die Aufgabe als anstrengend?

Frage 15: Ist den Studienteilnehmern klar, wie man weiter vorgehen soll?

z.B. eine Differenzierung nach

- volle Zustimmung
- teilweise Zustimmung
- kaum Zustimmung

Für das weitere Vorgehen sind die weniger stimmigen Antworten für eine noch runder ablaufende weitere Umsetzungsphase von Bedeutung. Folglich findet diesbezüglich ein Gespräch mit den betreffenden Studienteilnehmern wie auch die Intervention unterstützenden Geographielehrern statt.

Aus den vorhandenen Datenmaterialien lassen sich folgende Fragen ableiten:

*Frage 1: Wie kann man für eine optimale Beanspruchung der Studienteilnehmer im Experiment sorgen?*

*Frage 2: Wie kann man dafür sorgen, dass die Studienteilnehmer nicht bemerken, wie die Zeit vergeht?*

*Frage 3: Wie kann man erreichen, dass die Studienteilnehmer in das Experiment vertieft sind?*

*Frage 4: Wie kann man erreichen, dass die Studienteilnehmer völlig selbstvergessen sind in das, was sie gerade machen?*

*Frage 5: Wie müssen die Experimente gestaltet sein, dass sie Spaß machen?*

*Frage 6: Wie kann man die Studienteilnehmer bestärken, die Lösung zu finden?*

*Frage 7: Wie kann man dafür sorgen, dass die Studienteilnehmer keine Schwierigkeiten haben, ihre Gedanken beisammen zu halten?*

*Frage 8: Wie müssen die Experimente beschaffen sein, um nicht als zu anstrengend empfunden zu werden?*

*Frage 9: Wie müssen die Experimente beschaffen sein, damit den Studienteilnehmern klar ist, wie man weiter vorgehen soll?*

Mögliche Lösungsvorschläge zu den oben aufgeführten Leitfragen orientieren sich an den kognitiven und motivationalen Mediatorvariablen:

### 1.) *Beeinflussung der Dauer der Lernphase (der aktiven Lernzeit)*

- Möglichkeit 1: Variation der Lernzeit
  - die gesamte Experimentierzeit, aber auch die Bearbeitungsdauer der einzelnen Experimente darf weder zu lange (Unterforderung der Schüler und Aufkommen von Langeweile durch Leerlaufphasen) noch zu kurz (Überforderung der Schüler und Aufkommen von Leistungs- und Zeitdruck) sein;
  - Zeitvorgaben müssen so gewählt werden, dass man vorgabengerecht auch alles erfolgreich schafft
  
- Möglichkeit 2: Änderung des Strategieeinsatzes
  - Wechsel der Sozialform: Einzel-, Partner-, arbeitgleicher bzw. arbeitsteiliger Gruppenarbeit;
  - Wechsel der Aktionsform: Wechsel von Schüler- und Demonstrationsexperiment sorgt für Abwechslung und unterschiedliche Beanspruchung
  - fortwährende Aktivierung und Beschäftigung des Schülers: z.B. Schulung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnikkompetenz, Dokumentation und Bearbeitung der Begleitmaterialien, materialgestütztes Arbeiten mit differenzierten, aber klar strukturierten Arbeitsaufträgen;
  - Schaffung von Freiräumen: Schüler soll die Möglichkeiten haben, andere zu beobachten und deren Vorgehen zu überdenken (=Lernen am Modell) und sich gemäß seinen Fähigkeiten und Fertigkeiten einbringen, aber auch zurückziehen dürfen
  
- Möglichkeit 3: Änderung der Zusammensetzung eines Teams
  - freie Wahl der Partner innerhalb einer Experimentiergruppe induziert gegenseitiges Unterstützen und Ausbalancieren von Chancen, gemeinsam an der Lösung tüfteln ohne das Über- oder Unterforderung entsteht
  - durch die Variation der Sozialform entstehen veränderte Teams, so dass die Schüler in einer anderen sozialen Einbettung zusammenarbeiten und ihre Teamfähigkeit unter Beweis stellen müssen
  - Schüler sollen sich gut verstehen, jedoch Freiräume nicht zur Fremdbeschäftigung nutzen
  - das Experiment steht im Fokus, d.h. die Kommunikation mit dem Partner dient dem Inhalt und der Vorgehensweise zur Lösung des Problems

### 2. *Beeinflussung der Art und Qualität der dabei ausgeführten Lernaktivitäten (z.B. der verwandten Lernstrategien)*

- Orientierung erfolgt an den Kenntnissen und Bedürfnissen von Schülern der 10. Jahrgangsstufe
- Schüler sollen durch das bereitgestellte, wissenschaftlich fundierte Material und die Experimente gelenkt werden und nicht durch den Lehrer. Dadurch soll das Vorwissen aktiviert werden, um dem Ziel „Konstruktion > Instruktion“ Rechnung zu tragen.

- die Experimente und das Material zeichnen sich durch ihr kognitiv aktivierendes Element aus, da die Inhalte, die Methodik, der Realitätsbezug sowie der zunehmende Schwierigkeitsgrad zu einem erkennbaren Lernfortschritt führen
- das Zeitfenster ist optimal an 90 Minuten angepasst
- durch den Wechsel von Sozial- und Aktionsform ist eine Binnendifferenzierung möglich
- der Wechsel von aktiver und passiver Aktivität, d.h. von Schüler- und Demonstrationsexperiment, führt zu einer höheren und längeren Konzentration und Aufmerksamkeit
- die Variation der Aufgaben und Dokumentation ist ein weiterer elementarer Baustein für den Ablauf des Experiments: dazu gehören das Zeichnen eines Versuchsaufbaus, das Dokumentieren mit dem Smartphone sowie die Involvierung der Schüler in Aufbau, Messung und Auswertung.

Die anschließende Diskussion über Beobachtungen und Ergebnisse, die Antwortform ‚multiple choice‘, aber auch die Variation des Anwendungskontextes oder das Ergänzen von Kennlinien tragen zu einem gelungenen Experimentieren im Unterricht bei.

- Naturwissenschaftlicher Dreiklang: hierbei ändert sich die Aktivität u.a. durch den Wechsel der Experimentierstation, so dass Schüler, je nach Aufgabenstellung, diese schriftlich, mündlich, haptisch oder mit Gerätschaften bearbeiten und beantworten, wodurch auch die Kommunikation beeinflusst wird
- durch die Zunahme der Schwierigkeitsstufen von Experiment 1 zu 5 gewöhnen sich Schüler an das Experimentieren, schulen ihre Fähigkeiten und verlieren ihre Scheu vor dem eigenständigen Experimentieren und werden somit diesbezüglich selbstbewusster. Die Anwendung von Wissen im Kontext ermöglicht es Schülern, zu erkennen, dass mehrere Wege zur Lösung existieren.

Deshalb wird am Dreiklang H-E-S festgehalten, es erfolgt eine individuelle Anpassung des Schwierigkeitsgrads durch Schüler (Hilfe durch Peers).

- das Begleitmaterial dient den Schülern nicht nur als Dokumentations-, sondern auch als Strukturierungshilfe: die bereitgestellten Informationen und Beschreibungen erlauben es, jeden Schüler - unabhängig vom Vorwissen – vom gleichen ‚Wissensstartpunkt‘ zu beginnen. Des Weiteren wird bereits der klare Ablauf der Experimente deutlich, indem den Schülern die genauen Ziele an die Hand gegeben werden
- im Rahmen der Planung der Experimente sollte zudem eine realistische Zielsetzung vorherrschen

### 3. Beeinflussung des Funktionszustands der Person während des Lernens

- 1. Möglichkeit: Soziale Eingebundenheit
  - Wahlfreiheit des Partners: in Absprache mit dem Partner kann sich der Schüler gemäß seinen Fähigkeiten und Fertigkeiten mehr bzw. weniger stark in das Experiment einbringen

- Angstfreiheit stärken und sozialen Vergleich vermeiden, besseres Umgehen mit heterogener Gruppe
- Gruppenstärke von sechs Leuten erweist sich als optimal: jeder Schüler hat seine Rolle, wird seiner Aufgabe gerecht und geht mit seinen individuellen Bedürfnissen nicht unter
  - Vermeidung von Teilnahmslosigkeit, dafür positive Lern-Umgebung und Lernatmosphäre
- 2. Möglichkeit: Kompetenzerleben und Selbstwirksamkeit erfahren
  - Schüler erkennt, dass sein Tun zum Ziel führt, auch wenn Anstrengung, Konzentration und Ausdauer nötig sind;
  - Studienleiterin, Geographielehrer und Peer-Group haben offenes Ohr für Vorschläge und Variation der Intervention; Einbringen von eigenen Interessen und Fragen, Schüler erkennt seine wichtige Rolle bei der Mitwirkung einer Studie
  - Vertrauen innerhalb des Teams und gegenüber Forscherin – Vermeiden von Druck und Anspannung, Offenheit für Lob und Kritik

## 2. Re-Design der Interventionsphase 1 auf Basis der erhobenen Daten im Hinblick

Gestützt auf die Ergebnisse im Leistungstest, den Erhebungen zur motivationalen Begleitforschung und systematischen Beobachtungen ergeben sich folgende Überarbeitungen bzw. Verfeinerungen:

### 2.1 auf die Experimente

In Experiment 1 beschränkt man sich fortan auf die Untersuchung der thermischen Eigenschaften von UV, sichtbarer und IR-Strahlung. Aspekte zu energetischen Eigenschaften werden nun in Experiment 2 und 3 diskutiert und experimentell nachgewiesen. Die Resultate der Aufgabe 1 des Tests zeigen zwar im Pre-Post-Vergleich eine Steigerung, die allerdings aus Sicht der kooperierenden Fachkollegen und der Studienleiterin noch weiter forciert werden könnte, insofern man sich nur auf das thermische Merkmal der Strahlungsarten konzentriert.

Weiterhin stehen die identischen Versuchsmaterialien, mit Ausnahme der Sensoren wie im Prototyp, zur Verfügung. Auf geäußerten Wunsch hin und um die Alltagsrelevanz zu untermauern, dürfen die Schülerinnen und Schüler anstelle mit der einfachen Stoppuhr die Zeitmessung über das Smartphone vornehmen. Nach wie vor beinhaltet die Aufgabenkultur drei Teilaufgaben, wobei der zweite Aufgabenbereich um eine Teilaufgabe c) ergänzt wurde. Darüber hinaus wurde dieser Teilbereich in den Handlungsaufforderungen zum Zwecke einer höheren Eigenaktivität verfeinert. Der dritte Aufgabenbereich fordert nun inhaltlich einen Vergleich der gewonnenen Daten aus der Messung.

Bereits in Form eines Prototyps erfreute sich Experiment 2 größter Beliebtheit unter den Schülern. Um auch hier dem Wunsch nach einer höheren Eigenaktivität nachzukommen, wurde das Repertoire an Materialien (z.B. Stoffe, Sonnenschutzmittel mit unterschiedlich hohem LSF, Leder) ergänzt, um so weitere Versuchsvarianten herstellen zu können.

Während der 20-minütigen Bestrahlung der Experimentieranordnung durch UV-B-Licht wurde mit dem Smartphone nicht nur die Zeit gemessen, sondern auch deren Zustand des bestrahlten Objekts im Abstand von fünf Minuten fotografisch festgehalten. Ein erneuter Schnappschuss der Versuchsanordnung nach ca. 60 Minuten dokumentiert eindrucksvoll das enorme Schädigungspotential der UV-Strahlung. Übertragen auf die Realität mag ein einmaliges Sonnenbad mit Sicherheit nicht schaden, jedoch zeigen sich die verheerenden, irreparablen Wirkungen der gefährlichen UV-Strahlung erst nach Jahren (z.B. Faltenbildung, verstärkte Pigmentierung bis hin zu Hautkrebs).

Erfreulich gute Ergebnisse wurden im Pre-Test in Aufgabe 3 erzielt, welche nach dem Durchlaufen des Experiments zusätzlich Steigerungstendenzen im Post-Test erkennen ließen.

Ein reines Überprüfen der Materialien auf deren Absorptionspotential erschien in der ersten Interventionsphase in Experiment 3 wenig herausfordernd. Aus Interesse an der gezielten Leistungssteigerung konnten zwar die meisten Studienteilnehmer ihre Leistungen in den Aufgaben 2 und 4 des Tests verbessern, jedoch gelang dies nicht im ursprünglich anvisierten Umfang. So werden nun für die zweite Intervention die Versuchsplättchen ohne Beschriftung auf dem Versuchstisch platziert, verbunden mit der Aufforderung, selbst herauszufinden, welches der dünnen Platten dem

Fensterglas, dem Quarzglas, Plexiglas bzw. PVC entspricht. Das ursprüngliche Experiment setzte sich aus zwei Aufgaben zusammen, so dass auch diese Experimentierstation eine Ergänzung um eine weitere Aufgabe erfuhr. Gestützt auf die Erkenntnisse des zweiten Experiments soll nun ein Vergleich der UV-B-Strahlen absorbierenden Wirkung von reinem Quarzglas und einem mit Sonnenschutzmittel besprühten Quarzglas experimentell erfolgen.

Das Experiment 4 erfuhr inhaltlich keine Abänderung, sondern eine methodische Erweiterung. Aus Gründen der stärkeren Aktivierung und Einbindung der Schüler, müssen die Studienteilnehmer in Aufgabe 6 des Begleitmaterials nun alle 15 Sekunden die am UV-C-Sensor auftreffende Strahlungsleistung sowie die in der Glasküvette vorherrschende Temperatur während der Ozonherstellung in leere t-T- bzw. t-W/m<sup>2</sup>-Diagramme eintragen. Durch die eindeutigen Diagramme können die Prozesse während der Ozonherstellung auf diese Weise besser nachvollzogen werden. Im Test bereiteten die Fragen aus Aufgabe 5 hinsichtlich der auftreffenden Strahlungsleistung am Sensor sowie der Temperaturveränderung in der Glasküvette bei der Ozonherstellung einigen Schülern Probleme.

Experiment 5 simuliert das Ozonloch und dessen Auswirkungen. Ähnlich wie in Experiment 4 messen die Schülerinnen und Schüler die während der Ozonvernichtung auftreffende UV-Strahlung am Sensor und die in der Glasküvette detektierbare Temperaturveränderung. Sämtliche Werte werden auch hier in leere t-T- bzw. t-W/m<sup>2</sup>-Diagramme eingetragen. Die Antworten auf die Frage 6 waren im Post-Test mit Blick auf die Experimentplanung und Durchführung qualitativ besser als im Pre-Test. In Bezug auf die Auswertung des Experiments konnten zwar alle Schüler eine Zunahme der UV-Strahlung am Sensor nennen, allerdings wurde die nicht stattfindende Temperaturveränderung teils nicht erwähnt.

## 2.2 auf die Materialien

Die Versuchsbeschreibung von Experiment 1 enthält eine reduzierte Übersicht über die im Versuch zu verwendenden Materialien. Eine Differenzierung der Aufgabe 2 in die Teilaufgaben a, b und c vereinfacht das Ableisten der experimentellen Handlung und schärft den Blick auf die vor der eigentlichen Versuchsdurchführung vorherrschende (Raum-) Temperatur. Die gemessenen Werte werden in die dafür erstellte Tabelle fixiert.

Um die Bestrahlungsdauer von drei Minuten möglichst schüleraktivierend zu überbrücken, sollen in vorgefertigten t-T-Diagrammen arbeitsteilig alle 20 Sekunden die am Thermometer abzulesenden Temperaturveränderungen eingetragen werden. Somit fällt die Verantwortung für die Messung an der UV-Lampe, an der Tischlampe und an der IR-Lampe in die Hände der drei gleich großen Teams.

Einerseits entsteht durch das ständige Eintragen der Messwerte so unter den Schülern keine Langeweile, andererseits ist die unmittelbare graphische Umsetzung der Messung anschaulicher als der reine Pre-Post-Vergleich der thermischen Wirkung der jeweiligen Strahlungsart.

---

Aufgabe 3 rundet das erste Experiment ab, in dem auf Basis der drei t-T-Diagramme Vergleiche hinsichtlich der thermischen Wirkungen der drei Strahlungsarten gezogen werden.

Die Begleitmaterialien zu Experiment 2 blieben in der Grundidee dem Prototyp identisch. Nur die Ergänzung der Materialsammlung und somit die Steigerung der Versuchsvarianten schlagen sich in Aufgabe 1 und in der Übersichtstabelle der Aufgabe 2 nieder. Des Weiteren erfährt Aufgabe 2 durch die Aufforderung zur fotografischen Dokumentation eine inhaltliche Verfeinerung. Aufgabe 3 entspricht nach wie vor dem Prototyp. Neu kam Aufgabe 4 hinzu, welche zu einer weiteren Beobachtungsaufgabe anhält: so soll die bestrahlte Versuchsanordnung nach ca. einer Stunde auf Veränderungen begutachtet werden.

In den Materialien zu Experiment 3 wurde die Zuordnungsaufgabe („Ordnen Sie die jeweiligen Plättchen dem zur Verfügung stehenden Quarzglas, Fensterglas, Plexiglas und PVC zu“) sowie die Aufgabe 3 hinzugefügt. Letzteres Experiment soll weitere Absorptionsmöglichkeiten von UV-B-Strahlung durch Stoffkombinationen demonstrieren.

Die Anleitung zu Experiment 4 erhält in Aufgabe 6 eine Ergänzung um ein t-T- sowie um ein t-W/m<sup>2</sup>-Diagramm.

Ähnlich wie in Experiment 4 wird Aufgabe 4 in Experiment 5 um ein t-T- sowie um ein t-W/m<sup>2</sup>-Diagramm erweitert.

### 3. Design solutions 1

Offenkundig bedienen sich sowohl die einzelnen Experimente als auch die Begleitmaterialien im Re-Design-Prozess an Gestaltungsprinzipien, die die Effektivität der Lehr-Lern-Umgebung in Bezug auf kognitive und motivationale Fragestellungen anzuheben vermögen.

Im Rahmen der Experimente und dazugehörigen Unterrichtsmaterialien ergaben sich inhaltliche und methodische Präzisierungen, Ergänzungen und Reduzierungen bzw. eine Veränderung in der Schwerpunktsetzung des einzelnen Experiments (siehe *Anhang S. 245-256*).

Durch die Überarbeitung im Re-Design-Verfahren nahm die Selbsttätigkeit der Schüler mit dem Ziel einer gesteigerten Selbstwirksamkeitserfahrung zu. Die Anschauungshilfen in Versuch und Material sowie die zunehmende Komplexität der Aufgabenstellung und weitere Differenzierungsmöglichkeiten des Lehr-Lern-Angebots liefern einen interessanteren und anspruchsvolleren Tätigkeitsanreiz und münden in optimierte bis fachlich vollkommen korrekte Präkonzepte bezüglich des Themenschwerpunkts der Studie.

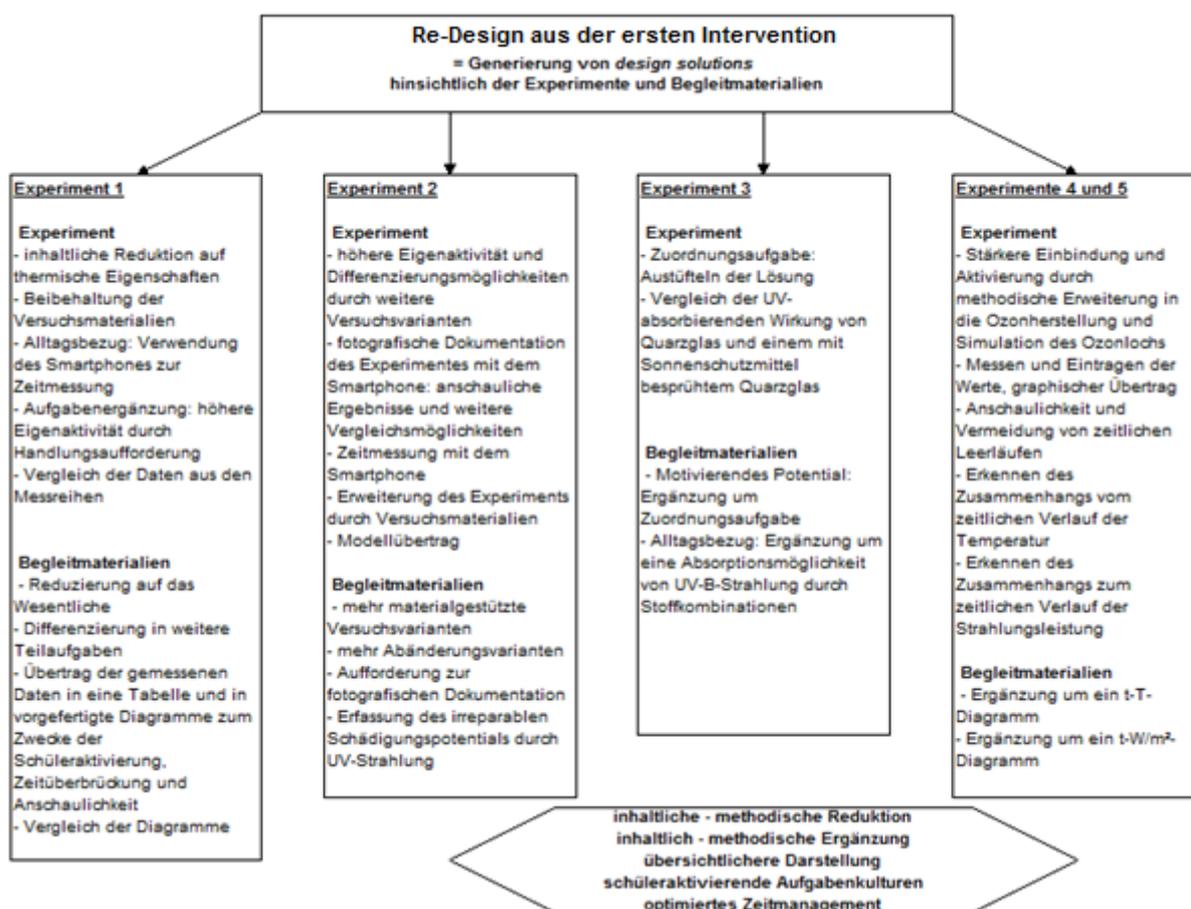


Abbildung 24: Generierung von *design solutions* aus der Analysephase der Intervention 1

## V. Umsetzungsphase 2

### 1. Interventionsphase 2 – design procedure

Im Folgenden werden die einzelnen Phasen des zweiten Interventionsdurchgangs in ihrem Ablauf und der Datengewinnung beschrieben. Diese entsprechen der Vorgehensweise der ersten Intervention.

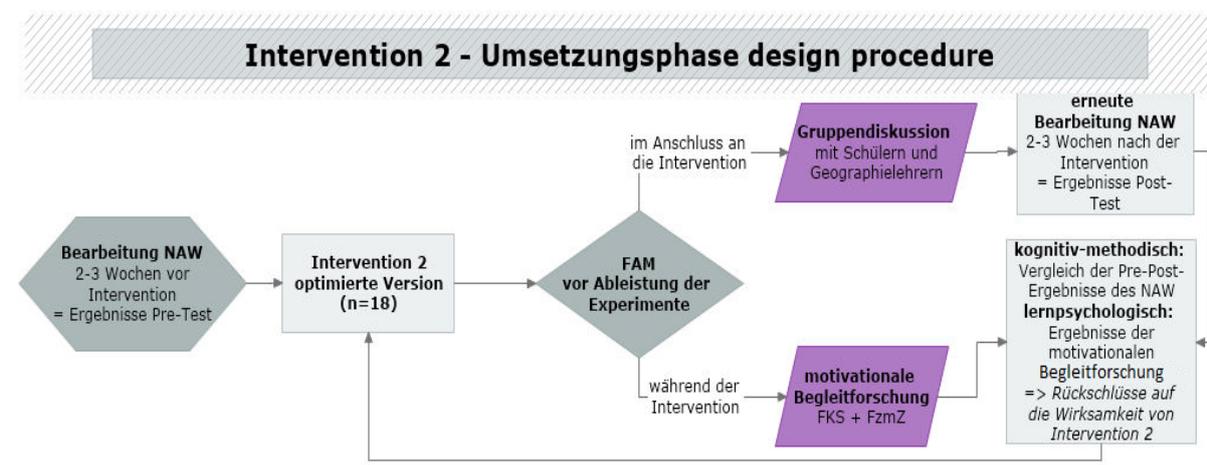


Abbildung 25: Architektur der Umsetzungsphase der Intervention 2 - design procedure

#### 1.1 Erhebungen vor der experimentellen Intervention

Das Messinstrument zur Erfassung naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen wurde ebenso wie in der ersten Intervention von 18 Schülerinnen und Schülern drei Wochen vor der experimentellen Erprobung der Intervention bearbeitet. Im Anschluss an die Bearbeitung erfolgte umgehend die Auswertung der Testergebnisse nach den Prinzipien des Verfahrens der Gütebestimmung des Erhebungsinstruments (n=292) und der Auswertungen der Pre-Post-Tests von Intervention 1. Auf Basis der Ergebnisse des Tests wurden drei heterogene Gruppen à sechs Interventionsteilnehmer gebildet, die sich mit der experimentellen Konzeption auseinandersetzten.

#### 1.2 Ablauf und Erhebungen am Tag der experimentellen Intervention

Während der Interventionsphase der zweiten Umsetzungsphase fand die Erprobung der experimentellen Konzeption erneut an drei aufeinanderfolgenden Tagen mit jeweils sechs Schülern statt.

Am Tag der Intervention wurden die themenbezogenen Schwerpunkte der einzelnen Experimente ausführlicher als im ersten Interventionsdurchgang vorgestellt, wodurch allen Studienteilnehmern Inhalt und Ablauf der experimentellen Umsetzung bekannt war. Überdies wurden die Heranwachsenden über die motivationale Begleitforschung informiert, die in Form einer Bearbeitung von kurzen Fragebögen unmittelbar vor und während des experimentellen Arbeitens erfolgen sollte.

Zunächst wurden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, den ‚Fragebogen zur Erfassung der Aktuellen Motivation‘ (FAM) auszufüllen, ehe die ersten drei Experimente von den Kleingruppen bearbeitet wurden. Im Anschluss an das dritte Experiment erfolgte die Bearbeitung der Erhebungsinstrumente ‚Flow-Kurz-Skala‘ (FKS) und ‚Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes‘. Im weiteren Verlauf wurden die Experimente 4 und 5 im abwechselnden Rhythmus von Schüler- und Demonstrationsexperiment abgeleistet und anschließend in einer Gruppendiskussion erste Eindrücke von der Konzeption gesammelt.

Die Interventionsphase wurde beständig von Beobachtungen durch Forscher (Studienleiterin), Praktiker (Gymnasiallehrer) und Schüler (keine Studienteilnehmer, Funktion als externer Beobachter bzw. photographische Dokumentation der Intervention) begleitet. Vereinzelt Experimente, die den geltenden Sicherheitsbestimmungen unterliegen, wurden von Unterrichtspraktikern durchgeführt.

Einerseits erfolgten die Beobachtungen wiederholt auf Basis subjektiv gewonnener Eindrücke, andererseits half ein Protokollationsbogen, die eigenen (doch auch subjektiven) Sichtweisen zu ordnen und zu systematisieren.

### **1.3 Erhebungen nach der experimentellen Intervention**

Nachdem alle 18 Schülerinnen und Schüler die experimentelle Intervention erfolgreich durchlaufen haben, wurde drei Wochen später der Test zur Erfassung von naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und zum Fachwissen erneut bearbeitet. Auf Grundlage der beiden Tests kann somit ein Pre-Post-Vergleich erfolgen und weitere Informationen hinsichtlich der Effektivität der Lehr-Lern-Umgebung auf Fachwissenszuwachs und Schulung methodischer Arbeitsweisen entnommen werden.

## VI. Analysephase 2

### 1. Auswertung und Analyse der erhobenen Daten aus Interventionsphase 2

Gestützt auf die Ergebnisse der quantitativen (Test zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz sowie der Begleitforschungsinstrumente) und qualitativen (zusammenfassendes Protokoll) Erhebungen erfolgt eine Analyse der experimentellen Lehr-Lern-Umgebung im Hinblick auf deren kognitive, methodische und motivationale Wirksamkeit. Aus den Evaluationsergebnissen sollen Vorschläge für das Re-Design der Intervention abgeleitet werden.

#### 1.1 Naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissenstest

Der identische Test zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnikkompetenz (zu den Themen Strahlungsarten und deren Eigenschaften, Herstellung von Ozon, Absorptionsverhalten ausgewählter Materialien bei UV-Strahlung und Ozonloch) wurde von der 18 Personen starken Interventionsgruppe 2 sowohl vor als auch nach der praktischen, experimentellen Umsetzung bearbeitet. Die Interventionsgruppe 2 setzte sich aus 10 weiblichen (ID\*) und 8 männlichen (ID) Studienteilnehmern zusammen (Durchschnittsalter: 16,33 Jahre,  $\sigma=0,707$ ; Durchschnittsnote Physik: 3,00; Durchschnittsnote Geographie: 2,61). Somit besitzen die IVG 1 und 2 die identische Durchschnittsnote in Physik, in Geographie ist die IVG 1 mit einer Durchschnittsnote von 2,16 leistungstärker als IVG 2.

Die maximale zu erreichende Punktzahl beträgt 122 Punkte.

Nachfolgend sind die erzielten Ergebnisse in Form von Punktescores (absolut und in Prozent) im Pre-Post-Vergleich zu entnehmen:

ID Schüler	Punktesumme Pre absolut	Punktescore Pre [%] : 100	Punktesumme Post absolut	Punktescore Post [%] :100	Punktescore-differenz absolut	Punktescore-differenz in %-Punkte :100
19	68	0,561983	97	0,801653	29	0,23967
20	61	0,504132	97	0,801653	36	0,297521
21*	90	0,743802	107	0,884298	17	0,140496
22*	61	0,504132	94	0,77686	33	0,272728
23*	80	0,661157	105	0,867769	25	0,206612
24*	80	0,661157	103	0,85124	23	0,190083
25	62	0,512397	100	0,826446	38	0,314049
26	75	0,619835	97	0,801653	22	0,181818
27	59	0,487603	96	0,793388	37	0,305785
28*	65	0,53719	99	0,818182	34	0,280992
29	42	0,347107	80	0,661157	38	0,31405
30	81	0,669421	103	0,85124	22	0,181819

31*	56	0,46281	92	0,760331	36	0,297521
32*	60	0,495868	93	0,768595	33	0,272727
33*	63	0,520661	95	0,785124	32	0,264463
34*	73	0,603306	103	0,85124	30	0,247934
35*	61	0,504132	96	0,793388	35	0,289256
36	73	0,603306	105	0,867769	32	0,264463

Tabelle 24: Punktescore Pre-Post (absolut und in Prozent) – Interventionsgruppe 2

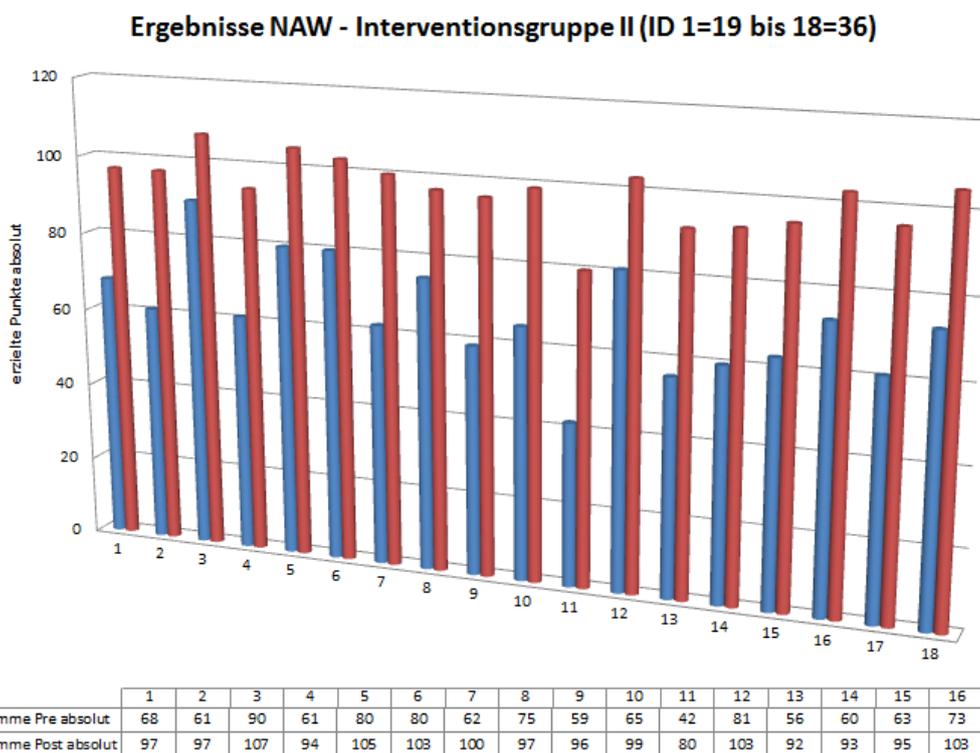


Abbildung 26: Punktescore Pre-Post (absolut und graphisch) – Interventionsgruppe 2

Im Pre-Test erzielten der leistungsschwächste Schüler 42 und der leistungsstärkste Schüler 90 Punkte. Alle am zweiten Interventionsdurchgang teilnehmenden Schüler konnten nach erfolgreich absolvierter Experimentierumgebung ihre Leistungen verbessern. So konnte der im Pre-Test leistungsschwächste Schüler (ID29) seine Leistung von 42 auf 80 Punkte steigern und 7 von 18 Studienteilnehmern im Post-Test sogar Ergebnisse im dreistelligen Bereich erzielen. Dem leistungsstärksten Schüler des Pre-Tests gelang es nach Ableistung der Experimentierlandschaft mit insgesamt 107 Punkten zu reüssieren. Im Schnitt erzielte die Interventionsgruppe 2 im Pre-Test eine Punktzahl von 67,22 und im Post-Test von 97,88. Beim Vergleich mit Interventionsgruppe 1 fällt auf, dass Interventionsgruppe 2 im Pre-Test sich deutlich leistungsschwächer zeigte und im Post-Test zwar knapp die erreichte durchschnittliche Punktzahl von Gruppe 1 verfehlte, aber insgesamt eine noch stärkere Steigerung ihrer Ergebnisse erzielen konnte.

Anhand der Übersicht sind folgende Auffälligkeiten festzustellen:

Studienteilnehmer ID 21 erzielte beim Vergleich der Pre-Post-Ergebnisse die geringste Steigerung mit 17 Punkten. Dagegen sei vermerkt, dass es sich hierbei um den besten Studienteilnehmer sowohl im Pre- als auch Post-Test handelt und eine derart signifikante Steigerung eher bei schwächeren Mitschülern zu erwarten ist.

Ein genaueres Bild über die Qualität der Bearbeitung des Tests zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen, sortiert nach Variablen und Variablenlabel im Pre-Post-Vergleich mit Schlussfolgerung, ist nachfolgender Tabelle zu entnehmen:

Variable	Variablenlabel	Pre	Post	Schlussfolgerung
NAW_1A.01	<i>Die Abstände zwischen Leuchtmittel und Thermometer waren unterschiedlich groß, und deshalb erwärmt sich das unter der IR-Lampe liegende Thermometer stärker</i>	k:18 f:0	k:16 f:2	Verschlechterung
NAW_1A.02	<i>Bei der Bestrahlung der Thermometer wird gleich viel Wärmeenergie verbraucht.</i>	k:18 f:0	k:17 f:1	Verschlechterung
NAW_1A.03	Bei der Bestrahlung der Thermometer mit sichtbarem und IR-Licht wird mehr Wärmeenergie frei als bei UV-Strahlung.	k:18 f:0	k:18 f:0	Keine Veränderung
NAW_1A.04	Das Thermometer unter der UV-Lampe wird weniger erwärmt, weil UV-Strahlung weniger energiereich ist als sichtbare oder IR-Strahlung.	k:9 f:9	k:15 f:3	Verbesserung
NAW_1B.01	Bei der Halbierung des Abstandes der Strahlungsquellen zum Thermometer ist eine direkte Proportionalität von Abstand und Temperaturanstieg erkennbar	k:18 f:0	k:18 f:0	Keine Veränderung
NAW_1B.02	Bei der Halbierung des Abstandes wird gleich viel Wärme von den Einzellampen abgestrahlt, wie im vorangegangenen Versuch.	k:14 f:4	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_1B.03	<i>Bei der Halbierung des Abstandes zwischen Strahlungsquelle und Thermometer liefern die VIS- und IR-Lampe die stärksten Temperaturanstiege.</i>	k:18 f:0	k:15 f:3	Verschlechterung
NAW_1B.04	Bei der Halbierung des Abstandes zwischen Strahlungsquelle und Thermometer erwärmt die UV-Lampe das Thermometer am wenigsten, da deren Strahlung weniger gefährlich und somit energieärmer ist als die der sichtbaren IR-Strahlung.	k:12 f:6	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_1C.01	Wenn die UV-Lampe auf das Pflanzenblatt strahlt, dann verdorrt dieses stärker, aber erwärmt sich weniger stark als mit einer Bestrahlung von der Tisch- bzw. IR-Lampe.	k:16 f:2	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_1C.02	Wenn die IR-Lampe und die Tischlampe auf das Pflanzenblatt doppelt so lange strahlen, dann ist die Verbrennung genauso stark wie bei der Bestrahlung mit UV-Licht.	k:16 f:2	k:16 f:2	Keine Veränderung
NAW_1C.03	Wenn die Bestrahlung des Pflanzenblattes mit UV-Licht eine Verbrennung von nahezu 40% der Blattoberfläche bewirkt, dann muss UV-Strahlung energiereicher und somit gefährlicher sein als die anderen beiden Strahlungsquellen.	k:17 f:1	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_1C.04	Wenn man den Abstand zwischen IR- und VIS- Lampe zum Pflanzenblatt halbiert, dann entspricht die Verbrennung des Pflanzenblattes auch nahezu der bei UV-Licht.	k:14 f:4	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_2A.01	<i>Wenn man Plättchen zwischen Strahlungsquelle und Sensor anbringt, wird immer Strahlung absorbiert.</i>	k:15 f:3	k:12 f:6	Verschlechterung
NAW_2A.02	Wenn man Quarzglas als Absorber verwendet, kommt weniger Strahlung an.	k:9 f:9	k:14 f:4	Verbesserung

NAW_2A.03	Wenn man alle vier Probematerialien aneinanderreicht, dann kommt bei allen Strahlungen nichts mehr am Sensor an.	k:6 f:12	k:12 f:6	Verbesserung
NAW_2A.04	Wenn man fünf Plexiglas- oder PVC-Plättchen zwischen Strahlungsquelle und Sensor anbringt, kommt trotzdem noch Strahlung am Sensor an.	k:3 f:15	k:8 f:10	Verbesserung
NAW_2A.05	Transmission von Fensterglas und UV-A-Strahlung bei ca. 85%.	k:6 f:12	k:13 f:5	Verbesserung
NAW_2A.06	Transmission von Plexiglas und UV-B-Strahlung bei ca. 0%.	k:14 f:4	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_2A.07	Transmission von PVC und UV-C-Strahlung bei ca. 2%.	k:11 f:7	k:15 f:3	Verbesserung
NAW_2A.08	Transmission von Quarzglas und allen UV-Strahlungen bei ca. 75-95%.	k:14 f:4	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_2A.09	Begründen Sie bitte kurz, wer von Ihnen beiden Recht hat.	D:2,50	D:2,11	Verbesserung
NAW_3.01	Stellen Sie vor der Versuchsdurchführung mit Hilfe der nachstehenden Begriffe sieben Hypothesen zum UV-Schutz (z.B. Je größer der Baum, desto länger der Schatten) auf!	D:5,11	D:6,72	Verbesserung
NAW_3.02	Beschreiben Sie bitte im Folgenden ihr Experiment. Versuchen Sie, jeden ihrer geplanten Arbeitsschritte zu begründen.	D:2,94	D:1,55	Verbesserung
NAW_3.03	Leiten Sie auf Basis der vorangegangenen Aufgaben ab, welche Konsequenzen das ungehinderte Auftreffen der UV-Strahlung auf die Erde für Menschen, Tiere und Pflanzen besitzen.	D:2,27	D:1,88	Verbesserung
NAW_4.01	Versuchen Sie mit eigenen Worten die beiden Diagramme zu interpretieren.	D:2,44	D:2,00	Verbesserung
NAW_4.02	Erläutern Sie Schutzmaßnahmen vor Hautkrebs, die der Dermatologe seinen Patienten – u.a. auf Grundlage der oben stehenden Diagramme – empfiehlt.	D:2,55	D:2,11	Verbesserung
NAW_5.01	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit zunehmender Ozonkonzentration an.	k:13 f:5	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.02	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit zunehmender Ozonkonzentration gleich.	k:15 f:3	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.03	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit zunehmender Ozonkonzentration ab.	k:10 f:8	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.04	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt bei zunehmender Ozonkonzentration zunächst zu, aber nachdem der Repräsentanzwert erreicht wird, wieder ab.	k:11 f:7	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.05	Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während der Ozonherstellung an, den Sie erwarten würden?	k:3 f:15	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.06	Begründen Sie bitte kurz Ihre letzte Antwort:	k:5 f:13	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_6.01	Geplante Durchführung:	D:3,72	D:1,61	Verbesserung
NAW_6.02	Erwartete Beobachtung:	D:4,61	D:1,50	Verbesserung
NAW_6.03	Warum ist gerade das von Ihnen geplante Experiment in der Lage, die Hypothese zu stützen bzw. zu bestätigen?	D:4,44	D:2,27	Verbesserung
NAW_7.01	FCKWs sind unter Berücksichtigung dieses Verbots keine Ozon-schädigenden Substanzen, im Sinne dieser Abkommen.	k:9 f:9	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_7.02	Einem Bademeister ist es gestattet, das Badewasser zu chlorieren und Eis aus Kühltruhen (mit FCKW-Anteil) zu verkaufen.	k:12 f:6	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_7.03	Spraydosen und Kühlmittel, die FCKW enthalten, dürfen unter Berücksichtigung des Verbots nicht verwendet werden und müssen fachgerecht entsorgt werden.	k:17 f:1	k:18 f:0	Verbesserung

NAW_7.04	Versuchen Sie, mit eigenen Worten die beobachteten Satellitenbilder (siehe Abbildung) vor dem Hintergrund des Protokolls von Montreal zu interpretieren.	D:3,61	D:2,44	Verbesserung
NAW_7.05	Versuchen Sie, mit eigenen Worten die gemessenen Daten (siehe Tabelle) vor dem Hintergrund des Montrealer Protokolls zu interpretieren.	D:4,16	D:2,00	Verbesserung
NAW_7.06	Welches Szenario erwarten Sie für die Ozonschicht in den kommenden Jahren? Begründen Sie bitte kurz ihre letzte Antwort.	D:4,11	D:2,22	Verbesserung
NAW_7.07	Löcher in der Ozonschicht werden größer durch FCKWs.	k:18 f:0 o:0	k:18 f:0 o:0	keine Veränderung
NAW_7.08	Löcher in der Ozonschicht werden größer durch die Emission von Kohlendioxid.	k:8 f:5 o:5	k:13 f:1 o:4	Verbesserung
NAW_7.09	Ozon kommt außer in der Stratosphäre auch in Bodennähe vor.	k:7 f:9 o:2	k:10 f:5 o:3	Verbesserung / <u>verbesserungs-</u> <u>würdig</u>
NAW_7.10	UV-, Licht- und IR-(Wärme)strahlen sind gleich.	k:14 f:3 o:1	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.11	Es wird wärmer durch weniger Ozon.	k:8 f:9 o:1	k:16 f:1 o:1	Verbesserung
NAW_7.12	Sonnenstrahlen kommen durch Ozonlöcher zur Erde hindurch und erwärmen sie.	k:6 f:12 o:0	k:16 f:0 o:2	Verbesserung
NAW_7.13	UV-Strahlung besitzt mehr Energie als sichtbares Licht und IR-Strahlung.	k:12 f:5 o:1	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.14	Mehr UV-Strahlen gelangen durch die Ozonlöcher, auch sind UV-Strahlen heißer als IR-(Wärme)strahlen.	k:8 f:7 o:3	k:15 f:2 o:1	Verbesserung
NAW_7.15	Aerosolsprays und Deodorants tragen durch die Zerstörung der Ozonschicht zur globalen Erwärmung bei.	k:3 f:10 o:5	k:7 f:8 o:3	Verbesserung / <u>verbesserungs-</u> <u>würdig</u>
NAW_7.16	Ozon steuert die Erdtemperatur.	k:11 f:6 o:1	k:15 f:2 o:1	Verbesserung
NAW_7.17	Ozon schützt die Erde vor saurem Regen.	k:3 f:8 o:7	k:6 f:2 o:10	Verbesserung / <u>verbesserungs-</u> <u>würdig</u>
NAW_7.18	Ozon absorbiert (filtert) UV-Strahlung.	k:11 f:6 o:1	k:17 f:1 o:0	Verbesserung
NAW_7.19	FCKWs zerstören Ozonmoleküle in der Atmosphäre.	k:16 f:1 o:1	k:17 f:1 o:0	Verbesserung
NAW_7.20	Eine Ursache der Ozonzerstörung sind Autoabgase in der Atmosphäre.	k:4 f:9 o:5	k:12 f:5 o:1	Verbesserung / <u>verbesserungs-</u> <u>würdig</u>
NAW_7.21	Die Verwendung einiger elektrischer Geräte im Haushalt (z.B. Kühlschrank, Klimaanlage) verursacht die Zerstörung von Ozon.	k:10 f:6 o:2	k:10 f:4 o:4	<u>verbesserungs-</u> <u>würdig</u>
NAW_7.22	Ozonabbau ist auf die Abgase und weiteren Verschmutzungen von Fabriken zurückzuführen	k:5 f:11 o:2	k:8 f:4 o:6	Verbesserung / <u>verbesserungs-</u> <u>würdig</u>

NAW_7.23	Der auf einem Sonnenmittel angegebene Lichtschutzfaktor gibt an, wie stark UV-Strahlung von diesem absorbiert (gefiltert) wird.	k:13 f:4 o:1	k:12 f:5 o:1	Verschlechterung
NAW_7.24	Wenn die Löcher in der Ozonschicht noch größer werden, dann wird der Treibhauseffekt noch schlimmer.	k:12 f:6 o:0	k:15 f:3 o:0	Verbesserung
NAW_7.25	Der Treibhauseffekt wird durch eine zu hohe Ozonkonzentration in Bodennähe verstärkt.	k:12 f:3 o:3	k:14 f:2 o:2	Verbesserung
NAW_7.26	Löcher in der Ozonschicht verstärken den Treibhauseffekt.	k:10 f:6 o:2	k:16 f:2 o:0	Verbesserung
NAW_7.27	Eine verringerte Anzahl von Ozonmolekülen in der Stratosphäre (ca. 22km über der Erdoberfläche) wird den durch den Treibhauseffekt verursachten Temperaturanstieg verstärken.	k:6 f:9 o:3	k:15 f:2 o:1	Verbesserung
NAW_7.28	Ein Grund für die Ausdünnung bzw. Zerstörung der Ozonschicht ist der verstärkte Treibhauseffekt.	k:13 f:3 o:2	k:15 f:2 o:1	Verbesserung
NAW_7.29	Der Treibhauseffekt wird durch die Emission von FCKWs verschlimmert.	k:8 f:7 o:3	k:11 f:5 o:2	Verbesserung
NAW_7.30	Wenn der Treibhauseffekt stärker wird, dann bekommen mehr Menschen Hautkrebs.	k:10 f:7 o:1	k:15 f:2 o:1	Verbesserung
NAW_7.31	Der Treibhauseffekt kann durch die verstärkte Nutzung von Atomkraftwerken statt Kohlekraftwerken verringert werden.	k:7 f:7 o:4	k:13 f:4 o:1	Verbesserung
NAW_7.32	Der Treibhauseffekt kann durch die Verwendung von bleifreiem Benzin verringert werden.	k:9 f:2 o:7	k:14 f:2 o:2	Verbesserung
NAW_7.33	Wenn es keinen Treibhauseffekt gäbe, gäbe es kein Leben auf der Erde.	k:11 f:0 o:7	k:17 f:0 o:1	Verbesserung
NAW_7.34	Wenn der Treibhauseffekt verstärkt wird, wird es mehr Erdbeben geben.	k:10 f:4 o:4	k:16 f:1 o:1	Verbesserung
NAW_7.35	Wenn der Treibhauseffekt verstärkt wird, werden Nutzpflanzen stärker von Käfern und Schädlingen befallen.	k:4 f:5 o:9	k:17 f:0 o:1	Verbesserung
NAW_7.36	Wenn alle Fahrzeuge mit Katalysatoren ausgestattet wären, würde der Treibhauseffekt reduziert werden.	k:14 f:2 o:2	k:18 f:0 o:0	Verbesserung

Tabelle 25: Ergebnisse im Pre-Post-Vergleich: Test zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen – Interventionsgruppe 2 (k: korrekte Antwort, f: falsche Antwort, o: weiß nicht, D: Durchschnitt)

Zwar konnten bei manchen Items Verbesserungen festgestellt werden, dennoch ist die Forscherin der Meinung, dass sich hier noch ein größeres Potential verbirgt (Schlussfolgerung verbesserungswürdig).

Aus den in Tab. 25 dargestellten Resultaten und den Anmerkungen der an der Intervention 2 Beteiligten lässt sich folgendes Fazit ableiten:

- NAW\_1A.01: vgl. Interventionsgruppe 1
- NAW\_1A.02: Schüler verwechseln die Begriffe Wärme, Energie und Leistung.

- NAW\_1B.03: vgl. Interventionsgruppe 1
- NAW\_2A.01: fehlerhaftes Ablesen aus der Tabelle. Im Experiment 3 werden viele Datenreihen festgehalten, die zwar notiert, aber nicht nachhaltig verinnerlicht werden.
- NAW\_7.23: Eine Schülerin erwähnte während der praktischen Durchführung, dass der LSF angibt, um welchen zeitlichen Faktor man sich länger in der Sonne aufhalten darf als ohne jeglichen Schutz. Dies ist zwar korrekt, jedoch gibt der LSF auch an, wie stark die UV-Strahlung absorbiert wird

Antworten, die zwar eine Leistungssteigerung bestätigen, aber dennoch Optimierungswünsche offen lassen, zeigen:

- NAW\_7.09: Wie bereits die erste Interventionsgruppe ist auch der zweiten das Vorkommen von Ozon in Bodennähe nicht bekannt. Da das Erhebungsinstrument nicht verändert werden kann, bleibt diese Frage weiterhin im Katalog. Um jedoch die Entstehungsbedingungen des bodennahen Ozons zu verstehen, sind anderweitige Kenntnisse von Nöten. Diese werden aus inhaltlichen und zeitlichen Gründen nicht weiterverfolgt.
- NAW\_7.15: Die Frage scheint insofern in die Irre führend, da zwei Gegenstände vermischt werden: Zwar werden Farben und Sprays mit FCKW und somit zur Ozonlochentstehung in Verbindung gebracht, dennoch öffnet der Aspekt der globalen Erwärmung ein weiteres, von der Thematik abweichendes Fenster. Auch hier soll eine genaue Aufarbeitung aus Gründen wie in 7.09 aufgeführt, ausbleiben.
- Identisches trifft auf NAW\_7.17/7.20 bis 7.22 zu.

Bezüglich der offenen Aufgabenstellungen (NAW\_6.01/02/03 und NAW\_7.04/05/06) fällt auf, dass die Ergebnisse in den Pre-Tests z.T. nur meist ausreichender Qualität sind (Notendurchschnitte zwischen 3,72 und 4,16). Die Ergebnisse des Post-Tests fallen mit Notendurchschnitten von 1,50 bis 2,44 in den identischen Aufgaben signifikant besser aus, womit die Frage nach der Effektivität der Intervention positiv beantwortet werden kann.

Die im Test zur Erfassung von naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen verwendeten Aufgaben lassen sich den Skalen Hypothese, Experiment und Schlussfolgerung zuordnen. Differenziert nach dieser Einteilung ergeben sich im Pre-Post-Vergleich folgende Werte:

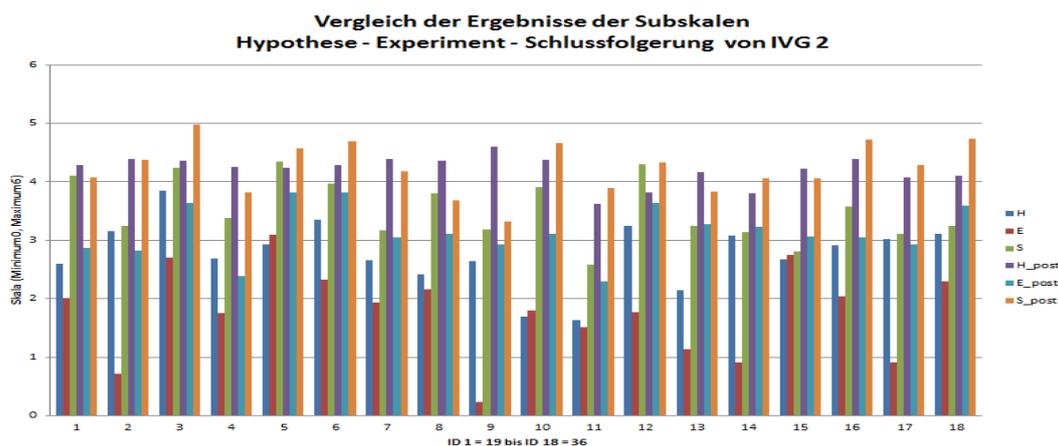


Abbildung 27: Ergebnisse der Subskalen im Pre-Post-Vergleich von IVG 2

ID	Hypothese pre	Experiment pre	Schlussfolgerung pre	Hypothese post	Experiment post	Schlussfolgerung post
19	2,592613	2,012379	4,095606	4,280752	2,872236	4,075314
20	3,148836	0,721584	3,243312	4,393538	2,827741	4,373126
21	3,847762	2,697873	4,244713	4,355942	3,638506	4,973743
22	2,693435	1,750153	3,381462	4,259372	2,380331	3,821973
23	2,930761	3,099617	4,348872	4,243157	3,818902	4,570123
24	3,347069	2,332293	3,963817	4,280752	3,818902	4,685262
25	2,660349	1,938881	3,173553	4,393538	3,049088	4,173744
26	2,410229	2,156685	3,802166	4,356024	3,10565	3,687434
27	2,634631	0,226136	3,188356	4,601038	2,924009	3,314013
28	1,69571	1,80547	3,910186	4,373528	3,104405	4,665018
29	1,627475	1,505916	2,58896	3,614925	2,291341	3,894512
30	3,246973	1,764519	4,304661	3,821487	3,637261	4,330828
31	2,143441	1,130679	3,239064	4,167966	3,280013	3,833066
32	3,074907	0,904544	3,143585	3,804108	3,231974	4,056794
33	2,675801	2,750543	2,813343	4,223633	3,05991	4,056941
34	2,917663	2,032659	3,569467	4,393538	3,055122	4,721524
35	3,017788	0,904544	3,110111	4,067952	2,922764	4,285621
36	3,114664	2,297375	3,243934	4,095793	3,592767	4,734015

Tabelle 26: Skalen Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung Pre-Post – Interventionsgruppe 2

Die Skalen Hypothese und Experiment zeigen bei allen Studienteilnehmern eine deutliche Verbesserung. Ein ähnliches Ergebnis ist bei Betrachtung der Skala Schlussfolgerung zu erkennen, mit der Ausnahme von ID 26. Dieser Schüler verschlechterte sich im Post-Test in den Items, die sich mit der Skala Schlussfolgerung auseinandersetzen.

Insgesamt zeigt das in Intervention 2 verwendete Re-Design der experimentellen Konzeption und der Begleitmaterialien eine deutliche (positive) Wirkung auf die Variablen ‚Schülerleistung‘ und ‚methodische Arbeitstechniken‘.

## 1.2 Motivationale Begleitforschung

Am Tag der Intervention und vor Beginn der Bearbeitung der einzelnen Experimente füllten alle Studienteilnehmer der zweiten Interventionsphase den Fragebogen zur Erfassung der Aktuellen Motivation (FAM) aus. Dabei erstreckte sich das Antwortschema von „1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“. Die einzelnen Items erfassen Tendenzen hinsichtlich der Bereiche Interesse (I), Erfolgswahrscheinlichkeit (E), Misserfolgsbefürchtung (M) und Herausforderung (H). Folgende Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen ( $\sigma$ ) sind der nachfolgenden Übersicht zu entnehmen:

Nr. Item	Bereich	MW	$\sigma$
01. Ich mag Experimente und das Experimentieren an sich.	I	1,72	0,894
02. Ich glaube, der Schwierigkeit der Experimente gewachsen zu sein.	E	2,22	1,060
03. Wahrscheinlich werde ich die Experimente nicht schaffen.	E	5,88	0,832
04. Bei experimentellen Aufgaben mag ich es, die Lösung auszutüfteln.	I	3,00	1,137
05. Ich fühle mich unter Druck, bei Experimenten gut abschneiden zu müssen.	M	5,44	1,503
06. Experimente sind eine richtige Herausforderung für mich.	H	4,11	1,640
07. Nach dem Lesen der Anleitung erscheinen mir diese Experimente sehr interessant.	I	2,50	1,200
08. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	H	2,83	1,617
09. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich beim Experimentieren blamieren könnte.	M	5,44	2,035
10. Ich bin fest entschlossen, mich bei den Experimenten voll anzustrengen.	H	2,00	1,028
11. Bei Experimenten wie diesen brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	I	2,11	1,490
12. Es ist mir etwas peinlich, hier beim Experimentieren zu versagen.	M	5,55	1,688
13. Ich glaube, das Experiment kann jeder schaffen.	E	2,27	1,487
14. Ich glaube, ich schaffe die Experimentiererei nicht.	E	6,22	1,003
15. Wenn ich das Experiment schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.	H	3,44	1,542
16. Wenn ich an die weiteren Experimente denke, bin ich etwas beunruhigt.	M	5,00	1,748
17. Solche Experimente würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	I	5,05	1,551
18. Die konkreten Leistungsanforderungen des Experiments lähmen mich.	M	5,66	1,680

Tabelle 27: FAM – Interventionsgruppe 2

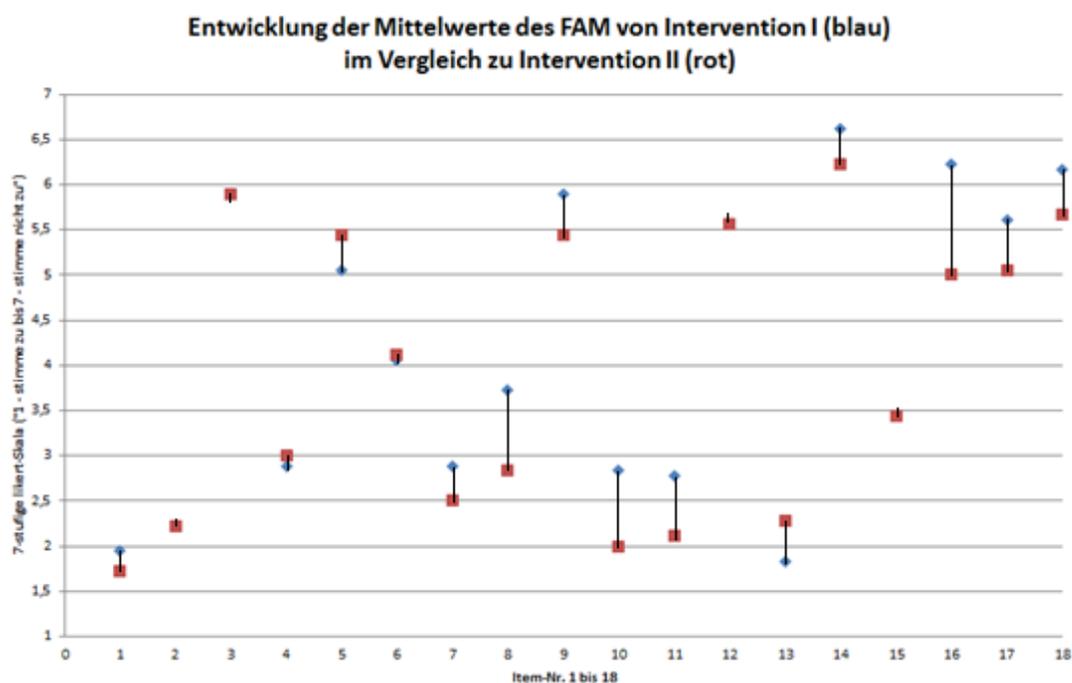


Abbildung 28: FAM – Mittelwerte der IVG 1 im Vergleich zu IVG 2 - graphisch

Die Items 1, 7 und 17 des Zuordnungsbereich Interesse erfahren im Vergleich zur ersten Interventionsphase eine Aufwertung: Von den Studienteilnehmern werden das Experimentieren an sich und die der Konzeption zugrundeliegenden Experimente interessanter eingestuft als von Interventionsgruppe 1. Ebenfalls ist eine leicht gesteigerte Bereitschaft erkennbar, sich mit derartigen Versuchen auch in der Freizeit zu beschäftigen.

Im Hinblick auf den Bereich Erfolgswahrscheinlichkeit ergaben sich im Vergleich zur ersten Interventionsphase anhand der Items 13 und 14 folgende Veränderungen: Allgemein wird von den Jugendlichen vermutet, dass die Experimentierlandschaft aufgrund der (gestiegenen) inhaltlichen und methodischen Anforderungen nicht mehr von jedem Probanden ohne weiteres erfolgreich durchlaufen werden könne, dennoch verbesserten sich die persönlichen Erfolgsaussichten. So besteht nun laut Meinung der Studienteilnehmer eher die Tendenz, die Versuche erfolgreich durchführen zu können.

Am Beispiel der Items 5, 9, 16 und 18 des Zuordnungsbereichs Misserfolgsbefürchtung zeigen sich im Vergleich zu Interventionsgruppe 1 folgende Neigungen: Innerhalb der Gruppe fühlen sich die Schülerinnen und Schüler weniger unter Druck gesetzt, gut abschneiden zu müssen, allerdings wird eher befürchtet, sich beim Experimentieren zu blamieren. Zurückführend auf den hohen Anspruch der Experimente äußern sich die Mittelstufenschüler eher beunruhigt und ängstlich in Bezug auf die konkreten Leistungsanforderungen.

Anhand der Items 6, 8 und 10 des Bereichs Herausforderung werden Experimente an sich zwar weniger herausfordernd empfunden, gleichzeitig steigt im Vergleich zu Interventionsgruppe 1 die

Bereitschaft sich anzustrengen und die Neugier, wie gut man innerhalb der methodischen Großform abschneidet.

Fasst man die oben genannten Items der einzelnen Bereiche zusammen, so ergeben sich folgende Mittelwerte („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“):

Bereich	MW	Anmerkungen und Deutungen
<b>Erfolgswahrscheinlichkeit mit Items 3 und 14</b>	2,24 4,15	Die Studienteilnehmer rechnen mit einer ähnlich hohen Erfolgswahrscheinlichkeit wie die Probanden aus Intervention 1. Während die MW der Items 2 und 3 im Vergleich zur ersten Interventionsgruppe unverändert bleiben, gehen die Probanden davon aus, dass jeder oder man selbst die Experimente geringfügig weniger erfolgreich ableisten kann (Item 13 und 14). Es sei zu beachten, dass Item 3 und Item 14 negativ gerichtet sind.
<i>Item-Nr.02</i>	2,22	
<i>Item-Nr.13</i>	2,27	
<i>Item-Nr.03</i>	5,88	
<i>Item-Nr.14</i>	6,22	
<b>Misserfolgsbefürchtung</b>	5,42	Mit einem MW von 5,42 ist die Misserfolgsbefürchtung in der anspruchsvolleren Re-Design-Konzeption unter den Schülern stärker ausgeprägt als in Intervention 1 (siehe Item 16 und 18, große Spannweitenlinie im Liniendiagramm). Im Vergleich zu den Teilnehmern von Intervention 1 sind die Probanden beim Gedanken an die Experimente geringfügig beunruhigter und fürchten sich eher davor, sich blamieren zu können. Die Angaben zur Furcht vom Versagen sind von Gruppe 1 zu Gruppe 2 identisch.
<i>Item-Nr.16</i>	5,00	
<i>Item-Nr.05</i>	5,44	
<i>Item-Nr.09</i>	5,44	
<i>Item-Nr.12</i>	5,55	
<i>Item-Nr.18</i>	5,66	
<b>Interesse</b>	2,33 (ohne*) 2,87 (mit*)	Das Interesse an Experimenten und der Spaß am Experimentieren an sich sind stärker ausgeprägt, auch scheint die Thematik der Experimente interessanter zu sein als in Intervention 1. Überdies besteht eine geringfügig größere Bereitschaft, derartige Experimente in der Freizeit durchzuführen (siehe Zunahme der Spannweitenlinien im Liniendiagramm).
<i>Item-Nr.01</i>	1,72	
<i>Item-Nr.11</i>	2,11	
<i>Item-Nr.07</i>	2,50	
<i>Item-Nr.04</i>	3,00	
<i>Item-Nr.17*</i>	5,05	
<b>Herausforderung</b>	3,09	Der MW von 3,09 zeigt, dass die Herausforderung durch die re-designten Experimente stärker zutrifft als in Intervention 1. Die Studienteilnehmer der zweiten Intervention äußern eine (noch) stärkere Leistungsbereitschaft und arbeiten eher handlungs- und ziel/ergebnisorientiert. Die Qualität der eigenen Leistung (Item 8) ist nun bedeutender als der Stolz auf die eigene Tüchtigkeit (Item 15).
<i>Item-Nr.10</i>		
<i>Item-Nr.08</i>	2,00	
<i>Item-Nr.15</i>	2,83	
<i>Item-Nr.06</i>	3,44 4,11	

Tabelle 28: FAM nach Bereichen – Interventionsgruppe 2

Nachdem die Studienteilnehmer die ersten drei Experimente der Intervention abgeleistet haben, bearbeiteten diese den Fragebogen zur Flow-Kurz-Skala (FKS) sowie zur Erfassung des motivationalen Zustands. Die einzelnen Items der FKS erfassen die Bereiche Absorbiertheit (A) und Glatter Verlauf (G). Erneut erstreckte sich das Antwortschema von „1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“.

Die Ergebnisse sind der folgenden Übersicht zu entnehmen:

Nr. Item	Bereich	MW	$\sigma$
01. Ich fühle mich im Experiment optimal beansprucht.	A	2,05	0,872
02. Meine Gedanken bzw. Aktivitäten während des Experimentierens laufen flüssig und glatt.	G	1,77	0,942
03. Ich merke beim Experimentieren gar nicht, wie die Zeit vergeht.	A	2,11	1,367
04. Ich habe keine Mühe, mich beim Experimentieren zu konzentrieren.	G	1,94	1,258
05. Mein Kopf ist beim Experimentieren völlig klar.	G	1,88	1,231
06. Ich bin beim Experiment ganz vertieft in das, was ich gerade mache.	A	2,27	0,894
07. Die richtigen Gedanken/Handlungsschritte kommen beim Experimentieren wie von selbst.	G	2,11	0,963
08. Ich weiß bei jedem Schritt des Experiments, was ich zu tun habe.	G	2,05	1,109
09. Ich habe das Gefühl, den Ablauf des Experiments unter Kontrolle zu haben.	G	2,05	0,872
10. Ich bin beim Experimentieren völlig selbstvergessen.	A	3,50	1,790

Tabelle 29: Flow-Kurz-Skala – Interventionsgruppe 2

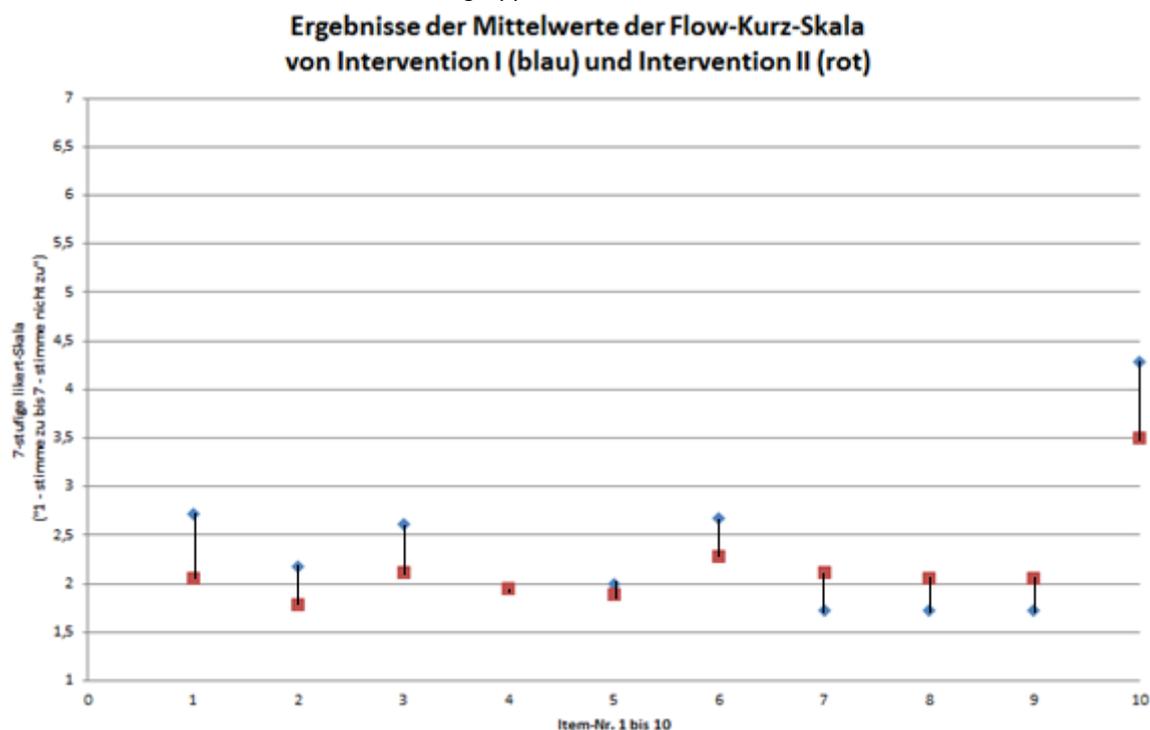


Abbildung 29: FKS – Mittelwerte der IVG 1 im Vergleich zu IVG 2 - graphisch

Vergleicht man die Antworten von der Interventionsgruppe des Prototyps mit der zweiten Studiengruppe, so ergibt sich für den Bereich Absorbiertheit folgender Wandel: Die im Re-Design überarbeiteten Experimente beanspruchen die Schüler optimaler und ermöglichen eher eine vollkommene Vertiefung und Selbstvergessenheit während des Experimentierens. Auch scheinen die Versuche recht kurzweilig zu sein, da kaum bemerkt wird, wie die Zeit während der praktischen Erprobung verstreicht.

Die Frage nach dem ‚Glatten Verlauf‘ während des Experimentierens kann im Vergleich zu Intervention 1 wie folgt beantwortet werden: Von Seiten der Schüler wird das Durchlaufen der experimentellen Lehr-Lern-Umgebung flüssiger und glatter beschrieben, auch scheint eine mühelosere und klarere Konzentration möglich. Das anwachsende inhaltliche und methodische Niveau der Experimente und der Versuchsanleitungen erzeugt unter den Schülern den Eindruck, weniger genau zu wissen, welche weiteren Handlungsschritte im Experiment ergriffen werden sollen oder wie sich der weitere Ablauf gestaltet.

Fasst man die oben genannten Items der einzelnen Bereiche zusammen, so ergeben sich folgende Mittelwerte („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“):

Bereich	MW	Anmerkungen und Deutungen
<b>Absorbiertheit</b>	2,48	Insgesamt konnte das Erfassen der Absorbiertheit mit einem MW von 2,48 (ohne Item 10 ein MW von 2,14) eine deutlich positivere Abweichung erzielen. Durch die überarbeitete Konzeption geben die Teilnehmer an, zeit- und selbstvergessener, vertiefter und stärker beansprucht im Experimentiervorgang zu sein als im Prototyp.
<b>Ohne Item 10</b>	2,14	
<i>Item-Nr.01</i>	2,05	
<i>Item-Nr.03</i>	2,11	
<i>Item-Nr.06</i>	2,27	
<i>Item-Nr.10</i>	3,50	
<b>Glatter Verlauf</b>	1,97	
<i>Item-Nr.02</i>	1,77	
<i>Item-Nr.05</i>	1,88	
<i>Item-Nr.04</i>	1,94	
<i>Item-Nr.08</i>	2,05	
<i>Item-Nr.09</i>	2,05	
<i>Item-Nr.07</i>	2,11	

Tabelle 30: Flow-Kurz-Skala nach Bereichen - Interventionsgruppe 2

Der von den Studienteilnehmern bearbeitete Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes liefert folgende Ergebnisse („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“):

Nr. Item	Bereich	MW	$\sigma$
<b>01. Die Aufgabe macht mir noch Spaß.</b>	Aktueller Tätigkeitsanreiz	1,44	0,704
<b>02. Ich bin sicher, die richtige Lösung zu finden.</b>	Aspekt der	2,33	1,328

	Selbstwirksamkeit		
<b>03. Ich habe keinerlei Schwierigkeiten, meine Gedanken beisammen zu halten.</b>	Erleben von anstrengungsfreier Konzentration	1,94	0,802
<b>04. Ich finde die Aufgabe anstrengend.</b>	Erleben von Anstrengung	6,11	1,529
<b>05. Mir ist klar, wie ich weiter vorgehen soll.</b>	Aspekt der Selbstwirksamkeit	1,66	0,840

Tabelle 31: Erfassung des motivationalen Zustands - Interventionsgruppe 2

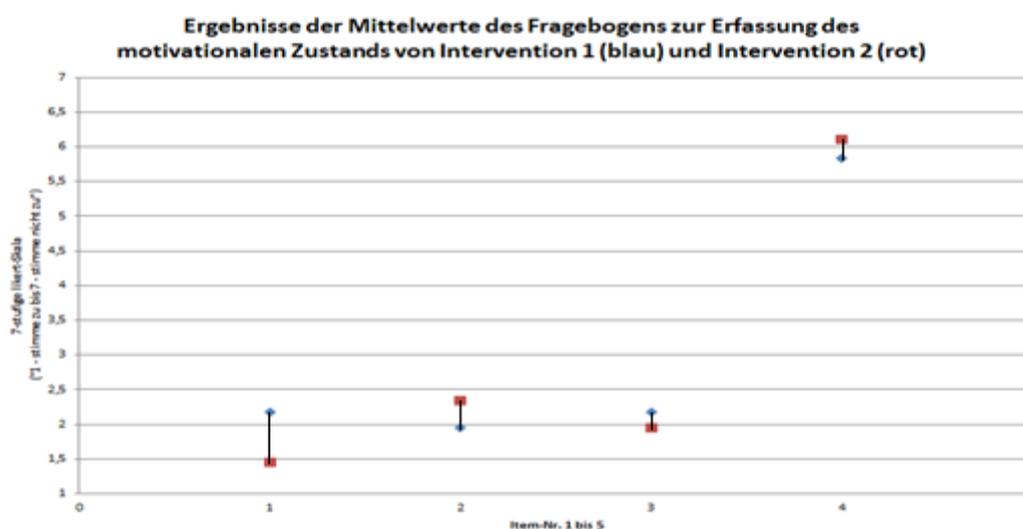


Abbildung 30: FzmZ – Mittelwerte der IVG 1 im Vergleich zu IVG 2 - graphisch

Aus den Ergebnissen des zweiten Interventionsdurchgangs und dem Vergleich zum Prototyp lässt sich ableiten: Die Aufgaben weisen einen höheren Tätigkeitsanreiz (mehr Spaß beim Experimentieren) und eine deutlich stärkere Selbstwirksamkeit (klare Strukturierung durch Konzeption und Begleitmaterialien) auf und ermöglichen eine anstrengungsfreiere, konzentrierte Atmosphäre. Aufgrund des höheren Anforderungsniveaus der überarbeiteten Konzeption sind sich die Studienteilnehmer weniger sicher, die richtige Lösung zu finden und empfinden die Bearbeitung der Experimente als mühevoller.

### 1.3 Gruppendiskussion mit den an der Intervention aktiv beteiligten Schülern

Aus der Diskussion mit den Studienteilnehmern der zweiten Intervention kann folgendes Fazit gewonnen werden:

Die Inhalte, methodischen Vorgehensweisen und Ziele der Einzelexperimente finden großen Anklang unter den Schülerinnen und Schülern. Einer Schülerin zufolge ist das erste Experiment durch seine einfache Handhabung und den einbindenden Arbeitsanweisungen weisend, erste Vertrautheit mit der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung zu schaffen und motiviert für die weitere Bearbeitung der

Folgeexperimente. Auch von den weiteren Studienteilnehmern kann diese Empfindung bestätigt werden.

Wie bereits während der ersten Interventionsphase erfreut sich das Experiment zur Untersuchung der Wirkung von UV-Strahlung und dem Auftrag, Schutzkonzepte zu erarbeiten und experimentell zu untersuchen, größter Beliebtheit. Die ergänzende Arbeitsanweisung, den Zustand des bestrahlten Versuchsaufbaus alle fünf Minuten mit dem Smartphone zu fotografieren, leistete einen weiteren Beitrag zur Schulung von Bewertungswissen, Motivationssteigerung und Alltagskompatibilität. So kann durch den Vergleich der einzelnen Aufnahmen das Schädigungspotential der UV-Strahlung noch besser registriert werden und die Schülerinnen und Schüler stärker für Schutzmaßnahmen sensibilisieren.

Die Zuordnung der namenlosen Plättchen auf Basis der experimentell gewonnenen Ergebnisse zu den einzelnen Versuchsmaterialien wurde von den Gymnasiasten wohlwollend aufgenommen. So war zwar jeder Schüler in die Bearbeitung des Versuchs involviert, musste jedoch nicht laufend Messungen vornehmen. Manchen Schülern ist die Abwechslung von Selbsttätigkeit und Beobachtung lieber, da eine reine Bearbeitung der Experimente in Eigenaktivität z.T. recht anstrengend sei. Aus dem Gespräch mit den Schülern konnte entnommen werden, dass eine Kombination von Festkörper und Flüssigkeit (z.B. ein mit Sonnenschutzmittel besprühtes Quarzglas) bei weitem nicht als derartig effektiver Schutz vor UV-Strahlung eingeschätzt wurde, wie es das Experiment in Form einer vollständigen Absorption zeigte. Ein Schüler warf die Frage auf, ob und von welchen Gasen sich UV-Strahlung absorbieren lassen könnte. Eine Schülerin erachtete Wasserdampf als ein für das Experiment naheliegendes Gas, da es in der Atmosphäre vorkomme und leicht herzustellen sei.

Ähnliche Faszination wie im ersten Interventionsdurchgang übten die Herstellung von Ozon und der Nachweis über dessen UV-absorbierende Wirkung unter den Lernenden aus. Positiv aufgenommen wurde die stetige Einbeziehung aller Beteiligten in die Planung, Durchführung und Auswertung des Experiments. Hervorgehoben wurde die Abwechslung von Lehrer- und Schülerexperimenten. Das Experiment verdeutliche, wie man unter Küchentischbedingungen Ozon herstellen könne und UV-Strahlung durch das Molekül gefiltert wird. Der grundlegenden Frage jedoch z.B., wie genau Ozon in der Stratosphäre aufgebaut wird, bleibt die vorliegende Versuchsvariante noch Antworten schuldig. Folglich geht aus dem Gespräch mit den Schülern hervor, dass die Vorgänge bei der Ozonherstellung noch genauer erklärt werden sollten.

Auf Rückfrage der Studienleiterin, die Inhalte, Vorgehensweise und Ziele des fünften Versuchs in eigenen Worten zu artikulieren, konnten die Interventionsteilnehmer die wesentlichen Bestandteile wiedergeben. Ein wesentlicher Punkt allerdings, nämlich auf das nachhaltig schädigende Potential und die lange Verweildauer von ausgewählten Treibhausgasen einzugehen, wurde in der Diskussion außer Acht gelassen.

#### **1.4 Beobachtungen durch kooperierende Lehrer**

Während sich von der ersten zur zweiten Interventionsphase die Studienteilnehmer unterscheiden, besteht das kooperierende Expertenteam nach wie vor aus den identischen Gymnasiallehrern. Dies gilt auch für die dritte Interventionsphase.

Nach Ansicht der Unterrichtspraktiker läuft die Implementation der Lehr-Lern-Umgebung noch runder und routinierter ab als es in der ersten Interventionsphase der Fall war. Es scheint – insbesondere im Zusammenhang mit den deutlichen Verbesserungen der Schülerleistungen im Pre-Post-Vergleich der Testergebnisse – dass durch die Intervention ein zunehmend optimiertes geographisches Verständnis entwickelt wird.

Die überarbeitete Fassung der Experimente, Aufgaben und Materialien seien laut Meinung der Lehrenden nun noch stärker kognitiv aktivierend und handlungsorientiert gestaltet, so dass von Schülerseite aus weitere geographisch relevante Fragen über darüber hinaus gehende Sachverhalte formuliert und experimentell eruiert werden könnten.

Konzepte wie individuelle Förderungsmöglichkeiten, ein Aufgabenwechsel von konstruierenden und instruierenden Anweisungen und zeitliche Vorgaben seien in der überarbeiteten Fassung noch stärker vertreten als beim Prototyp und finden unter den Gymnasiasten deutlichen Anklang.

Die Tatsache, dass innerhalb der Konzeption auf der Basis von Fachkonzepten und identifizierten Schülervorstellungen Inhaltswissen, Handlungs- und Beurteilungswissen systematisch geschult und Kompetenzen schrittweise aufgebaut werden, schlägt sich v.a. in den erzielten Leistungen im Test nieder. So zeigt speziell die Re-Design-Variante die Chance, vernetzt zu denken, kritisch Handlungsschritte und Aussagen zu reflektieren und kompetenzorientiert anzuwenden.

#### **1.5 Beobachtungen durch die an der Intervention passiv beteiligten Schüler**

Die von passiv teilnehmenden Schülern wahrgenommenen Beobachtungen sind deckungsgleich mit den unter Punkt 1.3 aufgezeigten Wahrnehmungen der aktiven Studienteilnehmer.

#### **1.6 Beobachtungen der Studienleiterin**

Ein Vergleich der erzielten Ergebnisse im Pre-Test von beiden Interventionsgruppen lässt ein schwächeres Abschneiden der zweiten Teilnehmergruppe erkennen. Es stellte sich von Anfang an die Frage, ob die anspruchsvollere überarbeitete Konzeption überhaupt von einer leistungsschwächeren Zielgruppe absolviert werden kann und inwieweit eine komplexere Lehr-Lern-Umgebung förderndes Potential auf Fachwissen, methodische Arbeitsweisen und Motivation besitzt.

Bei allen drei Gruppen der zweiten Interventionsphase ist (im Vergleich zum ersten Durchgang) ein deutlich höheres Maß an Ausführungsbereitschaft, Belastbarkeit und Gestaltungswille zu verzeichnen. Über Aufgaben, die in Eigenverantwortlichkeit gelöst werden sollen, wird viel stärker im Team beraten, auch scheint das Planungsverhalten wesentlich ergebnis- und zielorientierter zu sein.

Vereinzelte Bedenken von Schülern, im Experiment zu versagen, stellen sich schnell durch die Unterstützung in der Gruppe, die Klarheit der formulierten Aufgaben sowie der unkomplizierten Handhabung der Experimente als unbegründet heraus.

Sowohl während der Intervention als auch im anschließenden Gespräch mit den Studienteilnehmern wird mehrmals deutlich, wie wichtig fächerübergreifendes Wissen für die Bearbeitung der Konzeption von Bedeutung ist.

Zwar wird die gesteigerte Wirksamkeit der optimierten Konzeption auf kognitive, methodische und motivationale Perspektiven erkannt, dennoch sollten die Impulse der Schüler in einer weiteren Überarbeitung Eingang finden.

## VII. Re-Designphase 2

Der in der Re-Designphase 1 ausführlich aufgearbeitete Kriterienkatalog wird auch im zweiten Interventionsdurchgang verwendet (siehe S. 118-128).

### 1. Re-Design der Interventionsphase 2 auf Basis der erhobenen Daten im Hinblick

Vergleicht man die Ergebnisse des Tests zur ‚Erfassung naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen‘ und der ‚motivationalen Begleitforschung‘ aus der ersten mit der zweiten Interventionsphase, so kann man erkennen:

Die Schülerinnen und Schüler konnten ihre Leistungen deutlich verbessern und die motivationale Wirkung der experimentellen Konzeption konnte durch das erstmalige Re-Design gesteigert werden.

Da das Ziel der Studie jedoch die Entwicklung eines nahezu perfekten Produktes ist, welches die Schülervorstellungen und naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen als auch Unterrichtsmaterialien zu optimieren anstrebt, erfolgt ein weiteres Re-Design:

#### 1.1 auf die Experimente

Anhand der Ergebnisse der Aufgaben 1 und 2 des Pre-Tests der ersten und zweiten Interventionsgruppe konnten Rückschlüsse gezogen werden, das sowohl die thermischen Wirkungen als auch energetischen Eigenschaften der Strahlungsarten von den Schülerinnen und Schülern entweder nicht verstanden, nicht weiter differenziert oder gänzlich vermischt worden sind.

Die reine Beschränkung in Experiment 1 auf die thermischen Eigenschaften von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung im zweiten Interventionsdurchgang erwies sich als sehr gute Lösung, da sich in den Aufgaben 1 und 2 des Post-Tests deutliche Leistungssteigerungen zeigten.

Aus diesem Grunde wird die Versuchskonzeption nicht verändert und in dieser Fassung für die nächste Interventionsphase beibehalten.

Eine weitere Überarbeitung des Experiment 2 erübrigt sich aus folgenden Gründen: Zum einen ist die Konzeption nach wie vor die interessanteste, handlungsaktivierendste und anschaulichste Experimentierstation aus Sicht der Schüler, zum anderen zeigen die Ergebnisse von Aufgabe 3 des Post-Tests ein nahezu volles Erreichen der angedachten Höchstpunktzahl wie in der Musterlösung angegeben.

Die überarbeitete Fassung von Experiment 3 erhielt in der zweiten Interventionsphase durch die Demonstration eines Absorbermixes aus Quarzglas und Sonnenschutzmittel eine inhaltliche, lebensnahe und methodische Aufwertung. Zwar ist die Effektivität des ersten Re-Designs an den erzielten Leistungen in Aufgabe 2 im Post-Test zu erkennen, doch lassen die Ergebnisse aus Aufgabe 4 des Tests noch weiteren Handlungsbedarf erkennen. Offensichtlich fiel es den allermeisten Schülern leicht, den Verlauf der Strahlungsleistung nach Tages- und Jahreszeit beider Diagramme zu

beschreiben. Ergänzend erwähnten noch einige wenige Schüler, dass aber ein wolkenbedeckter Himmel kaum absorbierende Wirkung auf die gefährliche UV-Strahlung besitzt. Im Design der ersten und zweiten Experimentvariante wurden ausschließlich absorbierende Eigenschaften von Festkörpern und Flüssigkeiten im Versuch nachgewiesen. Um die oftmals unterschätzte Gefahr vor UV-Strahlung an bewölkten Tagen zu verdeutlichen, wird das Experiment um einen weiteren Versuch ergänzt: Die Studienteilnehmer werden mit einer Aussage konfrontiert, die eine schützende Funktion der Wolken vor UV-Strahlung suggeriert. Schließlich sollen die Schüler unter Verwendung der bereitgestellten Materialien ein Experiment planen und durchführen, das der Überprüfung der Aussage dient. Schlussendlich demonstriert das ergänzte Experiment, dass UV-Strahlung nahezu ungehindert durch Wolken (gasförmiger Zustand von Wasser) auf die Erde gelangt.

Durch die Aussagen der Schüler bei der Gruppendiskussion, den Beobachtungen aller an der zweiten Intervention beteiligten Akteure und den Ergebnissen aus Aufgabe 5 im Post-Test, wird die Wirksamkeit von Experiment 4 klar bestätigt. Weiterhin findet die methodische Abwechslung von Schüler- und Demonstrationsexperiment unter den Studienteilnehmern Gefallen. Im Verlauf des zweiten Interventionsdurchgangs gaben einige besonders interessierte Schüler an, dass sie zwar die Herstellung von Ozon unter Küchentischbedingungen sehr spannend und faszinierend empfinden, ihnen allerdings nicht klar sei, wie das für uns Menschen so wichtige Molekül in der Stratosphäre gebildet wird. Diese Frage wird von den kooperierenden Lehrern und der Studienleiterin als äußerst wichtig eingestuft, da die Ozonbildung in der Stratosphäre auf unterschiedlichste Art zu Stande kommt. Da die Ozonbildung – wie sie in der Stratosphäre geschieht – experimentell nicht abgebildet werden kann, rundet ein Exkurs über die Varianten der Ozonherstellung in der Stratosphäre in Form eines Arbeitsblattes das vierte Experiment ab.

Die Interpretation der Satellitenbilderabfolge (Ozonkonzentration auf der Erde zwischen 1995 und 2007) unter Berücksichtigung des Protokolls von Montreal gelang den meisten Schülern im Post-Test in zufriedenstellendem bis gutem Maße. Obwohl Aufgabe 7 ein Hilfsmittel in Form einer Tabelle (Informationen zur Verweildauer ausgewählter Treibhausgase) bereitstellt, wird auf diese in den Schülerantworten kaum verwiesen. Die kooperierenden Lehrer und die Studienleiterin gehen davon aus, dass die Studienteilnehmer mit der weitreichenden Bedeutung der in der Tabelle enthaltenen Information wenig anfangen können. Um die Schülerleistungen weiter zu optimieren, nimmt das Experiment 5 eine weitere Versuchsvariante auf. Nachdem Dichlormethan in die mit Ozon gefüllte Glasküvette beigegeben wurde, setzte die Vernichtung des lebenswichtigen Moleküls unmittelbar ein, am UV-C-Sensor war sogleich eine stark ansteigende Strahlungsleistung angekommen. Auf Grundlage der Informationstabelle, die für FCKWs eine durchschnittliche Verweildauer von 90 Jahren in der Atmosphäre angibt, zeigt die ergänzte Versuchsvariante eine erneute Ozonherstellung. An die soeben verwendete Glasküvette (enthält Spuren von Dichlormethan) wird erneut Hochspannung zum Zwecke der Ozonherstellung angeschlossen. Wieder konzentrierten sich die Schüler auf die am UV-C-Sensor auftreffende Strahlungsleistung sowie auf die sich eventuell einstellende Temperaturveränderung und die zeitliche Dauer beim Herstellungsprozess. Wie in Experiment 4 kommt es zu keinerlei Temperaturveränderungen, ein Novum jedoch ist die zeitliche Inanspruchnahme und die am Sensor detektierte Strahlung. Während in Experiment 4 die Strahlungsleistung von  $1,2 \text{ W/m}^2$  binnen

fünf Minuten bei der Ozonherstellung auf einen Wert von ca.  $0.18\text{W/m}^2$  abfiel, dauert die erneute Ozonherstellung ungefähr drei Mal so lang und erzielt bei weitem nicht die geringen Strahlungsleistungswerte (von  $0,18\text{ W/m}^2$ ). Mit Hilfe dieser weiteren Versuchsvariante wird experimentell verdeutlicht, welche nachhaltigen Schäden durch den FCKW-Eintrag entstehen.

## 1.2 auf die Materialien

Die Unterrichtsmaterialien von Experiment 1 erfahren keine Veränderungen. In der dritten Implementierung wird mit den Handreichungen des zweiten Interventionsdurchgangs gearbeitet.

Identisches trifft auf die Begleitmaterialien des Experiments 2 zu.

Eine Abänderung der Versuchsbeschreibung zu Experiment 3 wird nicht vorgenommen, wobei die Handreichung eine Ergänzung um eine weitere, vierte Aufgabe erfährt. Inhaltlich soll in der vierten Aufgabe ein Experiment geplant und durchgeführt werden, welches die UV-absorbierende Eignung von Wolken bzw. Wasserdampf untersucht.

Die Arbeitsblätter des Experiments 4 nehmen eine inhaltliche und graphische Ergänzung in Form eines Exkurses zu verschiedenen Varianten der Ozonherstellung auf.

Um für eine bessere Verständlichkeit der Tabelle „Verweildauer ausgewählter Treibhausgase in der Atmosphäre“ zu sorgen, reiht sich in Experiment 5 eine weitere Versuchsvariante ein. In der mit Dichlormethan-Rückständen angereicherten Glasküvette wird erneut mit Hochspannung Ozon hergestellt. Dabei tragen die Studienteilnehmer in das vorgesehene Diagramm den zeitlichen Verlauf der am Sensor ankommenden Strahlungsleistung ein. Aufgrund des größeren Zeitbedarfs bis zur Erreichung eines Repräsentanzwertes wird auf diese Weise die lange Verweildauer der FCKW-simulierenden Beigabe offensichtlich.

## 2. Design solutions 2

Im Gegensatz zum ersten Re-Design der Intervention, deren Folge z.T. die Streichung, Ergänzung und Überarbeitung der Experimente und der dazugehörigen Begleitmaterialien in Form von z.B. angemesseneren Darstellungen und stärker schüleraktivierenden Aufgabenkulturen waren, lag der Fokus des zweiten Re-Designs auf der Verfeinerung und der anspruchsvolleren inhaltlich-experimentellen Vervollständigung. Inwieweit sich die zweite Überarbeitung, welche fortwährend auf Grundlage der erhobenen quantitativen und qualitativen Daten vorgenommen wurde, eignet, weitere positive Akzente im Hinblick auf die Verbesserung von Schülervorstellungen zu setzen, naturwissenschaftliche Arbeitstechniken solider beherrschen, Fachwissen vertiefen und Motivationen auszulösen oder zu stärken, wird die dritte Umsetzungsphase zeigen (siehe *Anhang S. 257-271*).

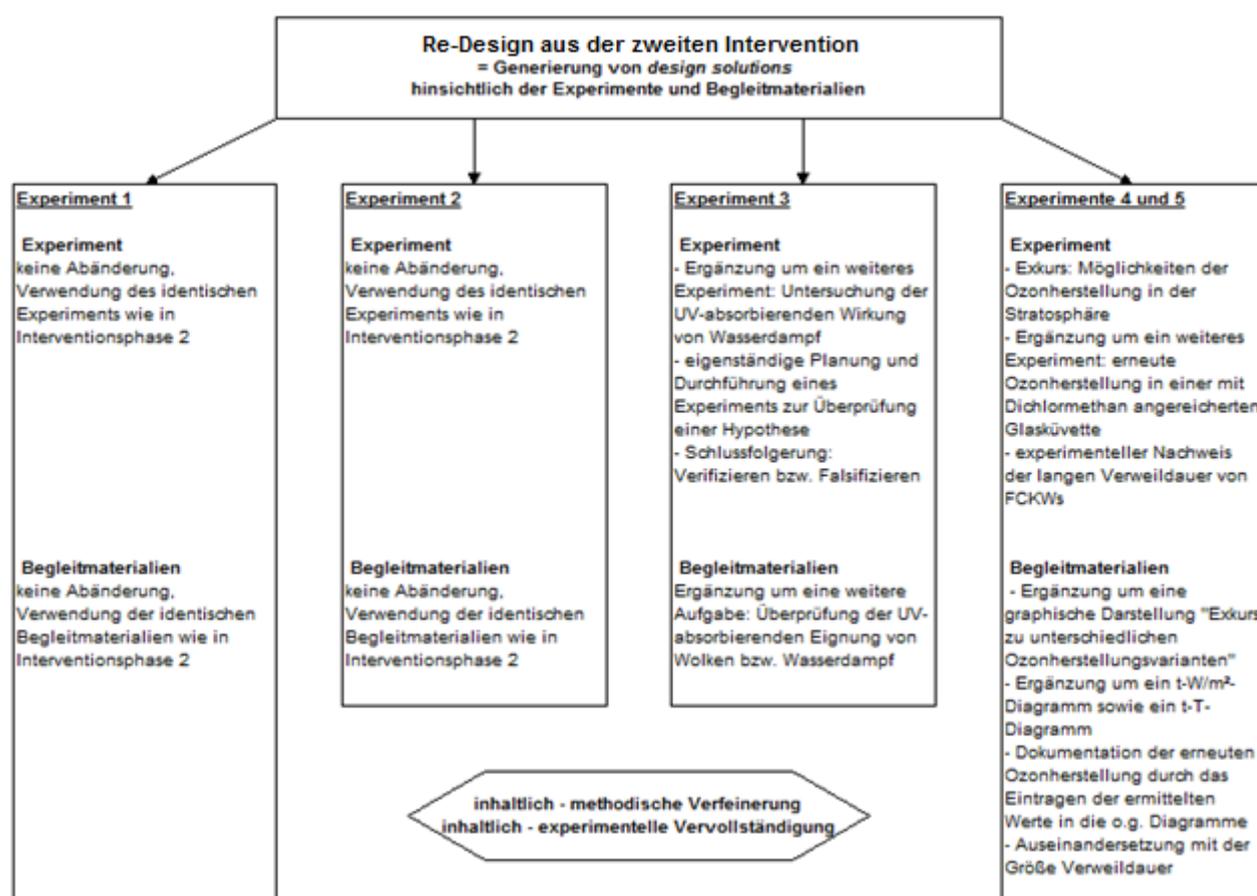


Abbildung 31: Generierung von *design solutions* aus der Analysephase der Intervention 2

## VIII. Umsetzungsphase 3

### 1. Interventionsphase 3 – design procedure

Die in der dritten Umsetzungsphase verwendete experimentelle Konzeption wurde auf Basis der erhobenen Daten in einem iterativen Verfahren zwei Mal überarbeitet.

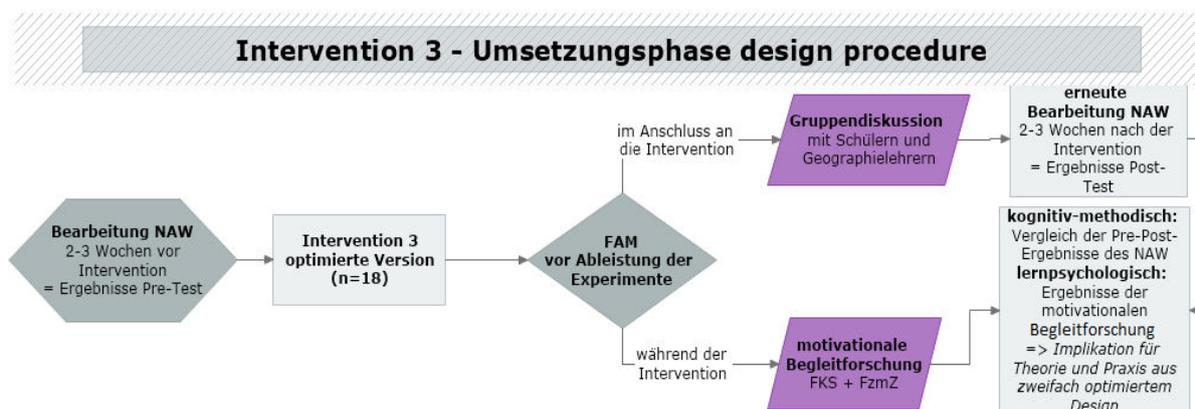


Abbildung 32: Architektur der Umsetzungsphase der Intervention 3 – design procedure

#### 1.1 Erhebungen vor der experimentellen Intervention

Analog zum ersten und zweiten Interventionsdurchgang bearbeiteten auch hier 18 Studienteilnehmer den Test zur Erfassung naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen. Dieser Test wurde nach identischem Muster wie in Interventionsphase 1 und 2 ausgewertet. Exakt drei Wochen nach der erstmaligen Bearbeitung des Messinstruments fand jeweils mit sechs Studienteilnehmern an drei aufeinanderfolgenden Tagen die praktische Erprobung der experimentellen Konzeption statt.

#### 1.2 Ablauf und Erhebungen am Tag der experimentellen Intervention

Am Tag der experimentellen Intervention füllten die Schülerinnen und Schüler nach ausführlicher Präsentation der einzelnen Versuchsstationen den Fragebogen zur Aktuellen Motivation (FAM) aus. Nachdem von allen Gymnasiasten die ersten drei Experimente abgeleistet wurden, gaben diese ihre Eindrücke in der Flow-Kurz-Skala (FKS) und dem Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes wieder. Schließlich rundete die Bearbeitung der Experimente 4 und 5 sowie die im Anschluss stattfindende Gruppendiskussion die Intervention ab.

#### 1.3 Erhebungen nach der experimentellen Intervention

Exakt zwei Wochen nach der experimentellen Intervention bearbeiteten die Mittelstufenschüler erneut den Test, der nach bekanntem Schema ausgewertet wurde.

## IX. Analysephase 3

### 1. Auswertung und Analyse der erhobenen Daten aus Interventionsphase 3

Die Auswertung der im Methodenmix erhobenen Daten und deren Analyse ist dem nachfolgenden Abschnitt zu entnehmen.

Insgesamt nahmen 12 Studienteilnehmerinnen (ID\*) und sechs Studienteilnehmer (ID) in der dritten Interventionsphase teil (Durchschnittsalter 16,00 Jahre;  $\sigma=1,414$ ; Durchschnittsnote Physik: 3,11; Durchschnittsnote Geographie: 2,61). Anhand der Durchschnittsnoten ist zu erkennen, dass die Interventionsgruppen 2 und 3 in Geographie identische Leistungen zeigen, in Physik die Interventionsschüler 3 jedoch geringfügig leistungsschwächer sind.

#### 1.1 Naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissenstest

ID Schüler	Punktesumme Pre absolut	Punktescore Pre [%] : 100	Punktesumme Post absolut	Punktescore Post [%] : 100	Punktescore- differenz absolut	Punktescore- differenz in %- Punkte : 100
37*	68	0,561983	108	0,892562	40	0,330579
38*	51	0,421488	96	0,793388	45	0,3719
39*	55	0,454545	105	0,867769	50	0,413224
40*	64	0,528926	107	0,884298	43	0,355372
41*	58	0,479339	105	0,867769	47	0,38843
42*	59	0,487603	107	0,884298	48	0,396695
43*	50	0,413223	102	0,842975	52	0,429752
44	65	0,53719	108	0,892562	43	0,355372
45	45	0,371901	101	0,834711	56	0,46281
46	50	0,413223	90	0,743802	40	0,330579
47	55	0,454545	111	0,917355	56	0,46281
48	57	0,471074	100	0,826446	43	0,355372
49	31	0,256198	97	0,801653	66	0,545455
50*	63	0,520661	107	0,884298	44	0,363637
51*	60	0,495868	104	0,859504	44	0,363636
52*	54	0,446281	101	0,834711	47	0,38843
53*	66	0,545455	106	0,876033	40	0,330578
54*	48	0,396694	98	0,809917	50	0,413223

Tabelle 32: Punktescore Pre-Post (absolut und in Prozent) – Interventionsgruppe 3

Ergebnisse NAW - Interventionsgruppe III (ID 1 = 37 bis 18 = 54)

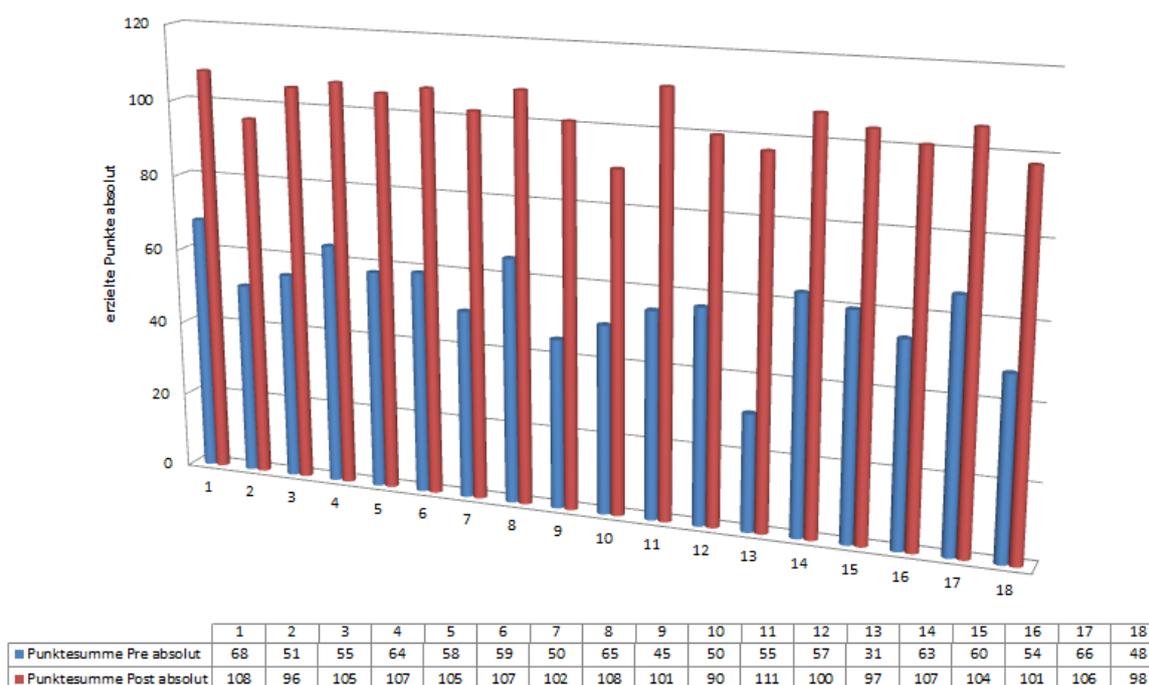


Abbildung 33: Punktescore Pre-Post (absolut und graphisch) – Interventionsgruppe 3

Insgesamt fällt auf, dass die Teilnehmer der dritten Intervention im Pre-Test mit einem Punktedurchschnitt von 55,5 deutlich schwächer waren als die an den Interventionen 1 und 2 teilnehmenden Schüler. Von besonderem Interesse sind somit die Ergebnisse des Post-Tests: Mit einem durchschnittlichen Wert von 102,94 Punkten schnitt die Interventionsgruppe erfolgreicher ab als die anderen beiden Studiengruppen. Mit Hilfe der experimentellen Konzeption konnte der leistungsschwächste Schüler (ID 49) seine Ergebnisse von 31 auf 97 Punkte verbessern, der leistungsstärkste (ID 37) von 68 auf 108 Punkten. Insgesamt konnten 14 von 18 Studienteilnehmern mit Ergebnissen im dreistelligen Bereich im Post-Test erfolgreich reüssieren, die restlichen Ergebnisse sind dem Fenster von 90 bis 98 Punkten einzugliedern und lassen ebenso eine deutliche Leistungssteigerung erkennen.

Ein genaueres Bild über die Qualität der Bearbeitung des Tests zur Erfassung von Fachwissen und der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnikkompetenz, sortiert nach Variablen und Variablenlabel im Pre-Post-Vergleich mit Schlussfolgerung, ist nachfolgender Tabelle zu entnehmen:

Variable	Variablenlabel	Pre	Post	Schlussfolgerung
NAW_1A.01	Die Abstände zwischen Leuchtmittel und Thermometer waren unterschiedlich groß, und deshalb erwärmt sich das unter der IR-Lampe liegende Thermometer stärker	k:18 f:0	k:18 f:0	keine Veränderung
NAW_1A.02	Bei der Bestrahlung der Thermometer wird gleich viel Wärmeenergie verbraucht.	k:14 f:4	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_1A.03	Bei der Bestrahlung der Thermometer mit sichtbarem und IR-Licht wird mehr Wärmeenergie frei als bei UV-Strahlung.	k:17 f:1	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_1A.04	Das Thermometer unter der UV-Lampe wird weniger erwärmt, weil UV-Strahlung weniger energiereich ist als sichtbare oder IR-Strahlung.	k:7 f:11	k:12 f:6	Verbesserung

NAW_1B.01	Bei der Halbierung des Abstandes der Strahlungsquellen zum Thermometer ist eine direkte Proportionalität von Abstand und Temperaturanstieg erkennbar	k:4 f:14	k:14 f:4	Verbesserung
NAW_1B.02	Bei der Halbierung des Abstandes wird gleich viel Wärme von den Einzellampen abgestrahlt, wie im vorangegangenen Versuch.	k:15 f:3	k:15 f:3	keine Veränderung
NAW_1B.03	Bei der Halbierung des Abstandes zwischen Strahlungsquelle und Thermometer liefern die VIS- und IR-Lampe die stärksten Temperaturanstiege.	k:16 f:2	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_1B.04	Bei der Halbierung des Abstandes zwischen Strahlungsquelle und Thermometer erwärmt die UV-Lampe das Thermometer am wenigsten, da deren Strahlung weniger gefährlich und somit energieärmer ist als die der sichtbaren IR-Strahlung.	k:11 f:7	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_1C.01	Wenn die UV-Lampe auf das Pflanzenblatt strahlt, dann verdorrt dieses stärker, aber erwärmt sich weniger stark als mit einer Bestrahlung von der Tisch- bzw. IR-Lampe.	k:17 f:1	k:17 f:1	keine Veränderung
NAW_1C.02	Wenn die IR-Lampe und die Tischlampe auf das Pflanzenblatt doppelt so lange strahlen, dann ist die Verbrennung genauso stark wie bei der Bestrahlung mit UV-Licht.	k:15 f:3	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_1C.03	Wenn die Bestrahlung des Pflanzenblattes mit UV-Licht eine Verbrennung von nahezu 40% der Blattoberfläche bewirkt, dann muss UV-Strahlung energiereicher und somit gefährlicher sein als die anderen beiden Strahlungsquellen.	k:15 f:3	k:17 f:1	Verbesserung
NAW_1C.04	Wenn man den Abstand zwischen IR- und VIS- Lampe zum Pflanzenblatt halbiert, dann entspricht die Verbrennung des Pflanzenblattes auch nahezu der bei UV-Licht.	k:11 f:7	k:15 f:3	Verbesserung
NAW_2A.01	Wenn man Plättchen zwischen Strahlungsquelle und Sensor anbringt, wird immer Strahlung absorbiert.	k:14 f:4	k:15 f:3	Verbesserung
NAW_2A.02	Wenn man Quarzglas als Absorber verwendet, kommt weniger Strahlung an.	k:9 f:9	k:15 f:3	Verbesserung
NAW_2A.03	Wenn man alle vier Probematerialien aneinanderreicht, dann kommt bei allen Strahlungen nichts mehr am Sensor an.	k:8 f:10	k:12 f:6	Verbesserung
NAW_2A.04	Wenn man fünf Plexiglas- oder PVC-Plättchen zwischen Strahlungsquelle und Sensor anbringt, kommt trotzdem noch Strahlung am Sensor an.	k:8 f:10	k:13 f:5	Verbesserung
NAW_2A.05	Transmission von Fensterglas und UV-A-Strahlung bei ca. 85%.	k:3 f:15	k:14 f:4	Verbesserung
NAW_2A.06	Transmission von Plexiglas und UV-B-Strahlung bei ca. 0%.	k:13 f:5	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_2A.07	Transmission von PVC und UV-C-Strahlung bei ca. 2%.	k:10 f:8	k:14 f:4	Verbesserung
NAW_2A.08	Transmission von Quarzglas und allen UV-Strahlungen bei ca. 75-95%.	k:13 f:5	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_2A.09	Begründen Sie bitte kurz, wer von Ihnen beiden Recht hat.	D:3,11	D:1,44	Verbesserung
NAW_3.01	Stellen Sie vor der Versuchsdurchführung mit Hilfe der nachstehenden Begriffe sieben Hypothesen zum UV-Schutz (z.B. Je größer der Baum, desto länger der Schatten) auf!	D:4,50	D:6,66	Verbesserung
NAW_3.02	Beschreiben Sie bitte im Folgenden ihr Experiment. Versuchen Sie, jeden ihrer geplanten Arbeitsschritte zu begründen.	D:3,11	D:1,22	Verbesserung
NAW_3.03	Leiten Sie auf Basis der vorangegangenen Aufgaben ab, welche Konsequenzen das ungehinderte Auftreffen der UV-Strahlung auf die Erde für Menschen, Tiere und Pflanzen besitzen.	D:3,00	D:1,44	Verbesserung
NAW_4.01	Versuchen Sie mit eigenen Worten die beiden Diagramme	D:3,16	D:1,66	Verbesserung

	zu interpretieren.			
NAW_4.02	Erläutern Sie Schutzmaßnahmen vor Hautkrebs, die der Dermatologe seinen Patienten – u.a. auf Grundlage der oben stehenden Diagramme – empfiehlt.	D:3,16	D:1,44	Verbesserung
NAW_5.01	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit zunehmender Ozonkonzentration an.	k:8 f:10	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.02	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit zunehmender Ozonkonzentration gleich.	k:13 f:5	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.03	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit zunehmender Ozonkonzentration ab.	k:10 f:8	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.04	Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt bei zunehmender Ozonkonzentration zunächst zu, aber nachdem der Repräsentanzwert erreicht wird, wieder ab.	k:4 f:14	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.05	Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während der Ozonherstellung an, den Sie erwarten würden?	k:1 f:17	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_5.06	Begründen Sie bitte kurz Ihre letzte Antwort:	k:2 f:16	k:15 f:3	Verbesserung
NAW_6.01	Geplante Durchführung:	D:4,66	D:1,83	Verbesserung
NAW_6.02	Erwartete Beobachtung:	D:4,94	D:1,11	Verbesserung
NAW_6.03	Warum ist gerade das von Ihnen geplante Experiment in der Lage, die Hypothese zu stützen bzw. zu bestätigen?	D:4,88	D:2,16	Verbesserung
NAW_7.01	FCKWs sind unter Berücksichtigung dieses Verbots keine Ozon-schädigenden Substanzen, im Sinne dieser Abkommen.	k:13 f:5	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_7.02	Einem Bademeister ist es gestattet, das Badewasser zu chlören und Eis aus Kühltruhen (mit FCKW-Anteil) zu verkaufen.	k:7 f:11	k:16 f:2	Verbesserung
NAW_7.03	Spraydosen und Kühlmittel, die FCKW enthalten, dürfen unter Berücksichtigung des Verbots nicht verwendet werden und müssen fachgerecht entsorgt werden.	k:17 f:1	k:18 f:0	Verbesserung
NAW_7.04	Versuchen Sie, mit eigenen Worten die beobachteten Satellitenbilder (siehe Abbildung) vor dem Hintergrund des Protokolls von Montreal zu interpretieren.	D:4,27	D:2,22	Verbesserung
NAW_7.05	Versuchen Sie, mit eigenen Worten die gemessenen Daten (siehe Tabelle) vor dem Hintergrund des Montrealer Protokolls zu interpretieren.	D:4,38	D:2,38	Verbesserung
NAW_7.06	Welches Szenario erwarten Sie für die Ozonschicht in den kommenden Jahren? Begründen Sie bitte kurz ihre letzte Antwort.	D:4,38	D:2,22	Verbesserung
NAW_7.07	Löcher in der Ozonschicht werden größer durch FCKWs.	k:13 f:3 o:1	k:17 f:1 o:0	Verbesserung
NAW_7.08	Löcher in der Ozonschicht werden größer durch die Emission von Kohlendioxid.	k:13 f:1 o:5	k:16 f:1 o:1	Verbesserung
NAW_7.09	Ozon kommt außer in der Stratosphäre auch in Bodennähe vor.	k:6 f:6 o:6	k:10 f:6 o:2	Verbesserung / <del>verbesserungs-</del> würdig
NAW_7.10	UV-, Licht- und IR-(Wärme)strahlen sind gleich.	k:16 f:1 o:1	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.11	Es wird wärmer durch weniger Ozon.	k:12 f:2 o:4	k:16 f:2 o:0	Verbesserung
NAW_7.12	Sonnenstrahlen kommen durch Ozonlöcher zur Erde hindurch und erwärmen sie.	k:1 f:14	k:13 f:4	Verbesserung

		o:3	o:1	
NAW_7.13	UV-Strahlung besitzt mehr Energie als sichtbares Licht und IR-Strahlung.	k:11 f:6 o:1	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.14	Mehr UV-Strahlen gelangen durch die Ozonlöcher, auch sind UV-Strahlen heißer als IR-(Wärme)strahlen.	k:8 f:6 o:4	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.15	Aerosolsprays und Deodorants tragen durch die Zerstörung der Ozonschicht zur globalen Erwärmung bei.	k:2 f:9 o:7	k:13 f:5 o:2	Verbesserung / <u>verbesserungs-</u> <u>würdig</u>
NAW_7.16	Ozon steuert die Erdtemperatur.	k:4 f:11 o:3	k:16 f:2 o:0	Verbesserung
NAW_7.17	Ozon schützt die Erde vor saurem Regen.	k:5 f:7 o:6	k:16 f:2 o:0	Verbesserung
NAW_7.18	Ozon absorbiert (filtert) UV-Strahlung.	k:11 f:4 o:3	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.19	FCKWs zerstören Ozonmoleküle in der Atmosphäre.	k:15 f:0 o:3	k:15 f:3 o:0	Verschlechterung/ Keine Veränderung
NAW_7.20	Eine Ursache der Ozonzerstörung sind Autoabgase in der Atmosphäre.	k:9 f:6 o:3	k:12 f:6 o:0	Verbesserung
NAW_7.21	Die Verwendung einiger elektrischer Geräte im Haushalt (z.B. Kühlschrank, Klimaanlage) verursacht die Zerstörung von Ozon.	k:6 f:9 o:3	k:13 f:4 o:1	Verbesserung
NAW_7.22	Ozonabbau ist auf die Abgase und weiteren Verschmutzungen von Fabriken zurückzuführen	k:2 f:12 o:4	k:13 f:3 o:2	Verbesserung
NAW_7.23	Der auf einem Sonnenmittel angegebene Lichtschutzfaktor gibt an, wie stark UV-Strahlung von diesem absorbiert (gefiltert) wird.	k:10 f:2 o:6	k:14 f:4 o:0	Verbesserung
NAW_7.24	Wenn die Löcher in der Ozonschicht noch größer werden, dann wird der Treibhauseffekt noch schlimmer.	k:4 f:7 o:7	k:17 f:1 o:0	Verbesserung
NAW_7.25	Der Treibhauseffekt wird durch eine zu hohe Ozonkonzentration in Bodennähe verstärkt.	k:2 f:8 o:8	k:10 f:2 o:6	Verbesserung
NAW_7.26	Löcher in der Ozonschicht verstärken den Treibhauseffekt.	k:5 f:8 o:5	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.27	Eine verringerte Anzahl von Ozonmolekülen in der Stratosphäre (ca. 22km über der Erdoberfläche) wird den durch den Treibhauseffekt verursachten Temperaturanstieg verstärken.	k:7 f:5 o:6	k:17 f:1 o:0	Verbesserung
NAW_7.28	Ein Grund für die Ausdünnung bzw. Zerstörung der Ozonschicht ist der verstärkte Treibhauseffekt.	k:6 f:7 o:5	k:17 f:0 o:1	Verbesserung
NAW_7.29	Der Treibhauseffekt wird durch die Emission von FCKWs verschlimmert.	k:2 f:13 o:3	k:13 f:5 o:0	Verbesserung
NAW_7.30	Wenn der Treibhauseffekt stärker wird, dann bekommen mehr Menschen Hautkrebs.	k:6 f:6 o:6	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.31	Der Treibhauseffekt kann durch die verstärkte Nutzung von	k:7	k:18	Verbesserung

	Atomkraftwerken statt Kohlekraftwerken verringert werden.	f:5 o:6	f:0 o:0	
NAW_7.32	Der Treibhauseffekt kann durch die Verwendung von bleifreiem Benzin verringert werden.	k:8 f:7 o:3	k:16 f:2 o:0	Verbesserung
NAW_7.33	Wenn es keinen Treibhauseffekt gäbe, gäbe es kein Leben auf der Erde.	k:6 f:6 o:6	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.34	Wenn der Treibhauseffekt verstärkt wird, wird es mehr Erdbeben geben.	k:4 f:4 o:10	k:18 f:0 o:0	Verbesserung
NAW_7.35	Wenn der Treibhauseffekt verstärkt wird, werden Nutzpflanzen stärker von Käfern und Schädlingen befallen.	k:5 f:4 o:9	k:17 f:1 o:0	Verbesserung
NAW_7.36	Wenn alle Fahrzeuge mit Katalysatoren ausgestattet wären, würde der Treibhauseffekt reduziert werden.	k:16 f:0 o:2	k:18 f:0 o:0	Verbesserung

Tabelle 33: Ergebnisse im Pre-Post-Vergleich – Test zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen – Interventionsgruppe 3 (k: korrekt, f: falsch, o: weiß nicht, D: Durchschnitt)

Die Resultate aus dem Vergleich der Pre-Post-Leistungen der Interventionsgruppe 3 bestätigen die Effektivität der zweifach überarbeiteten Version der situierten Lehr-Lern-Landschaft und den parallel hierzu entwickelten Materialien.

Aus der Vielzahl an Items des Fragenkatalogs treten insbesondere die Fragen NAW\_7.09, NAW\_7.15 und NAW\_7.19 hervor, da die gegebenen Antworten verbesserungswürdigen Charakter besitzen.

Analog der Interventionsgruppen 1 und 2 führt der Begriff des bodennahen Ozons in die Irre. Auf Nachfrage verbinden die Schüler einzig und allein die Stratosphäre mit der höchsten Ozonkonzentration. Mit dem Schlagwort Sommersmog konnte keiner der an der Studie beteiligten Schüler etwas anfangen. Um die Güte des Erhebungsinstruments nicht zu verändern, sollte dieses Item weiterhin im Fragenkatalog gelistet sein. Ferner besteht die Möglichkeit, diesen Sachverhalt in einem weiteren Zyklus mit in den Experimentekanon aufzunehmen und eigenständig aufzuarbeiten.

Die nicht eindeutige Formulierung von Item 7.15 und dessen Aufwerfen von zwei unterschiedlichen Sachverhalten ist nach wie vor unglücklich gewählt. Dennoch soll die Abänderung des Erhebungsinstruments durch ein gezieltes Streichen dieses Items vermieden werden, um weiterhin dessen Gültigkeit beizubehalten. Folglich sollten Items derart formuliert werden, dass nur ein Aspekt hinterfragt wird und Überschneidungen nicht impliziert werden.

Wohingegen die Interventionsgruppen 1 und 2 durchaus die Frage stellten, was man genau unter FCKWs versteht, verlangte die dritte Gruppe keine genaue Erklärung. Eine vollständige korrekte Beantwortung wäre insofern möglich gewesen, wenn sich unsichere Schüler nach der genauen Bedeutung erkundigt hätten.

Die im Test zur Erfassung von naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen verwendeten Aufgaben lassen sich den Skalen Hypothese, Experiment und Schlussfolgerung zuordnen. Differenziert nach dieser Einteilung ergeben sich im Pre-Post-Vergleich folgende Werte:

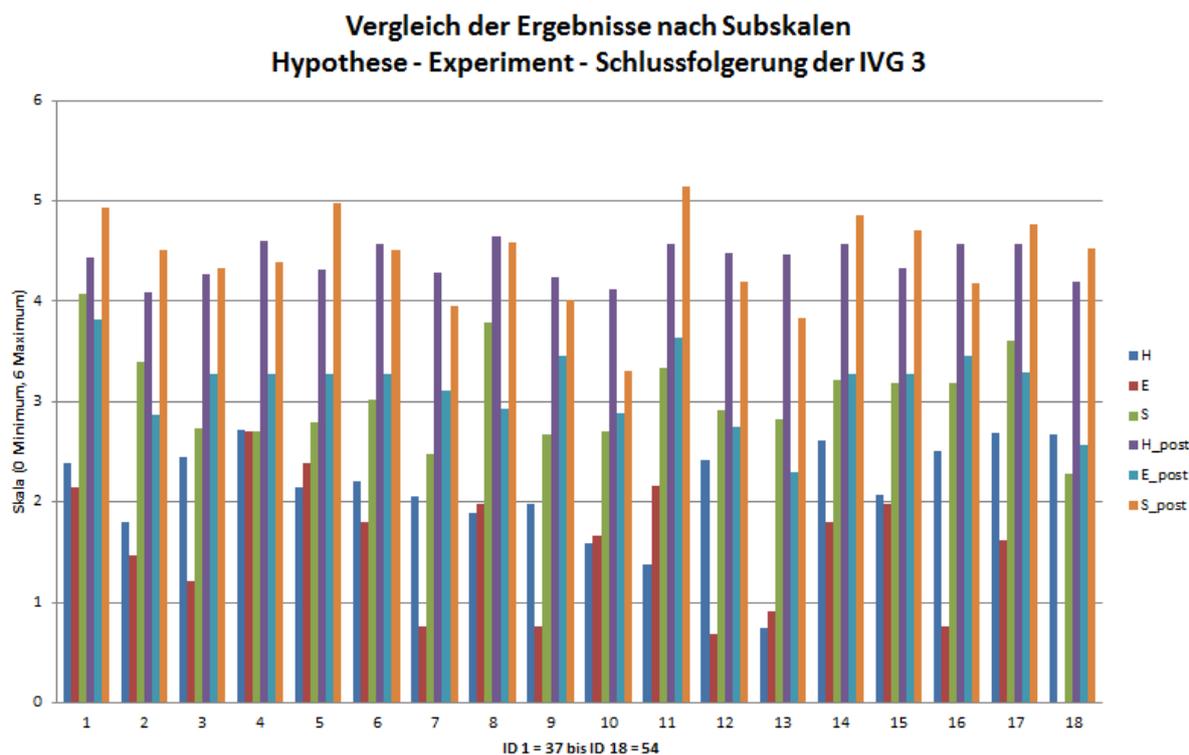


Abbildung 34: Ergebnisse der Subskalen im Pre-Post-Vergleich von IVG 3

ID	Hypothese pre	Experiment pre	Schlussfolgerung pre	Hypothese post	Experiment post	Schlussfolgerung post
37	2,387229	2,151897	4,067064	4,431133	3,818902	4,925609
38	1,802549	1,473489	3,398156	4,086024	2,874726	4,504099
39	2,453343	1,216052	2,724969	4,265698	3,281258	4,330891
40	2,719113	2,702662	2,698105	4,601038	3,280013	4,393266
41	2,144713	2,382821	2,796998	4,314472	3,281258	4,972546
42	2,199189	1,799437	3,021709	4,563442	3,281258	4,516232
43	2,052347	0,76378	2,471166	4,283283	3,10565	3,949602
44	1,891438	1,985866	3,792111	4,638633	2,930043	4,580406
45	1,976862	0,76378	2,669557	4,239281	3,461654	4,006161
46	1,59521	1,658674	2,698987	4,110929	2,879514	3,308065
47	1,372524	2,156685	3,330998	4,563442	3,637261	5,147154
48	2,415957	0,678408	2,908067	4,486314	2,748402	4,200044
49	0,743975	0,904544	2,82115	4,468728	2,291341	3,835603
50	2,606483	1,80298	3,220167	4,563442	3,281258	4,854138
51	2,062614	1,983376	3,186769	4,322817	3,281258	4,706442
52	2,507524	0,76378	3,190135	4,563442	3,461654	4,183306
53	2,68144	1,623829	3,613095	4,563442	3,286046	4,770633
54	2,671152	0	2,284977	4,19881	2,561972	4,531834

Tabelle 34: Skalen Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung Pre-Post - Interventionsgruppe 3

Von allen an der dritten Interventionsphase teilnehmenden Schülern konnte eine deutliche Verbesserung in den Skalen Hypothesenbildung, Experiment planen und durchführen sowie

Schlussfolgerung erzielt werden. Die Studienteilnehmer mit den Kennungen ID 43, ID 45, ID 48, ID 49, ID 52 und ID 54 hatten bei der Bearbeitung der Aufgaben mit inhaltlichem Schwerpunkt auf das Planen und Durchführen von Experimenten im Pre-Test erhebliche Probleme. Bezogen auf die äußerst erfreulichen Ergebnisse der Probanden im Post-Test findet die Wirksamkeit der experimentellen Konzeption auf die Förderung naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen eine enorme Bestätigung.

## 1.2 Motivationale Begleitforschung

Am Tag der Intervention füllen die Studienteilnehmer der dritten Interventionsphase unmittelbar vor Beginn der Bearbeitung der einzelnen Experimente den Fragebogen zur Erfassung der Aktuellen Motivation (FAM) aus. Dabei erstreckte sich das Antwortschema von „1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“. Die einzelnen Items erfassen Tendenzen hinsichtlich der Bereiche Interesse (I), Erfolgswahrscheinlichkeit (E), Misserfolgsbefürchtung (M) und Herausforderung (H). Folgende Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen ( $\sigma$ ) sind der Übersicht zu entnehmen:

Nr. Item	Bereich	MW	$\sigma$
01. Ich mag Experimente und das Experimentieren an sich.	I	1,55	0,983
02. Ich glaube, der Schwierigkeit der Experimente gewachsen zu sein.	E	2,66	1,283
03. Wahrscheinlich werde ich die Experimente nicht schaffen.	E	5,44	1,381
04. Bei experimentellen Aufgaben mag ich es, die Lösung auszutüfteln.	I	2,55	1,096
05. Ich fühle mich unter Druck, bei Experimenten gut abschneiden zu müssen.	M	4,38	2,004
06. Experimente sind eine richtige Herausforderung für mich.	H	4,44	1,885
07. Nach dem Lesen der Anleitung erscheinen mir diese Experimente sehr interessant.	I	2,61	1,144
08. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	H	2,33	1,414
09. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich beim Experimentieren blamieren könnte.	M	5,61	1,685
10. Ich bin fest entschlossen, mich bei den Experimenten voll anzustrengen.	H	2,00	1,188
11. Bei Experimenten wie diesen, brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	I	2,22	1,262
12. Es ist mir etwas peinlich, hier beim Experimentieren zu versagen.	M	5,61	1,539
13. Ich glaube, das Experiment kann jeder schaffen.	E	2,05	1,055
14. Ich glaube, ich schaffe die Experimentiererei nicht.	E	5,94	0,802
15. Wenn ich das Experiment schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.	H	2,88	1,640
16. Wenn ich an die weiteren Experimente denke, bin ich etwas beunruhigt.	M	5,55	1,503
17. Solche Experimente würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	I	4,44	1,916
18. Die konkreten Leistungsanforderungen des Experiments lähmen mich.	M	6,05	1,161

Tabelle 35: FAM - Interventionsgruppe 3

Gestützt auf die Items 1, 4, 7, 11 und 17 des Bereichs Interesse lassen sich im Vergleich zur zweiten Intervention nun folgende Tendenzen erkennen: Unter den Schülern besteht nun eher die Bereitschaft, derartige Experimente fernab von Belohnungsaussichten in der Freizeit zu bearbeiten, da insgesamt das Durchführen von Experimenten verbunden mit dem Austüfteln der Lösungen Spaß macht. Eine kleine Abschwächung erfahren die in der Konzeption verwendeten Versuche, da sie weniger interessant erscheinen.

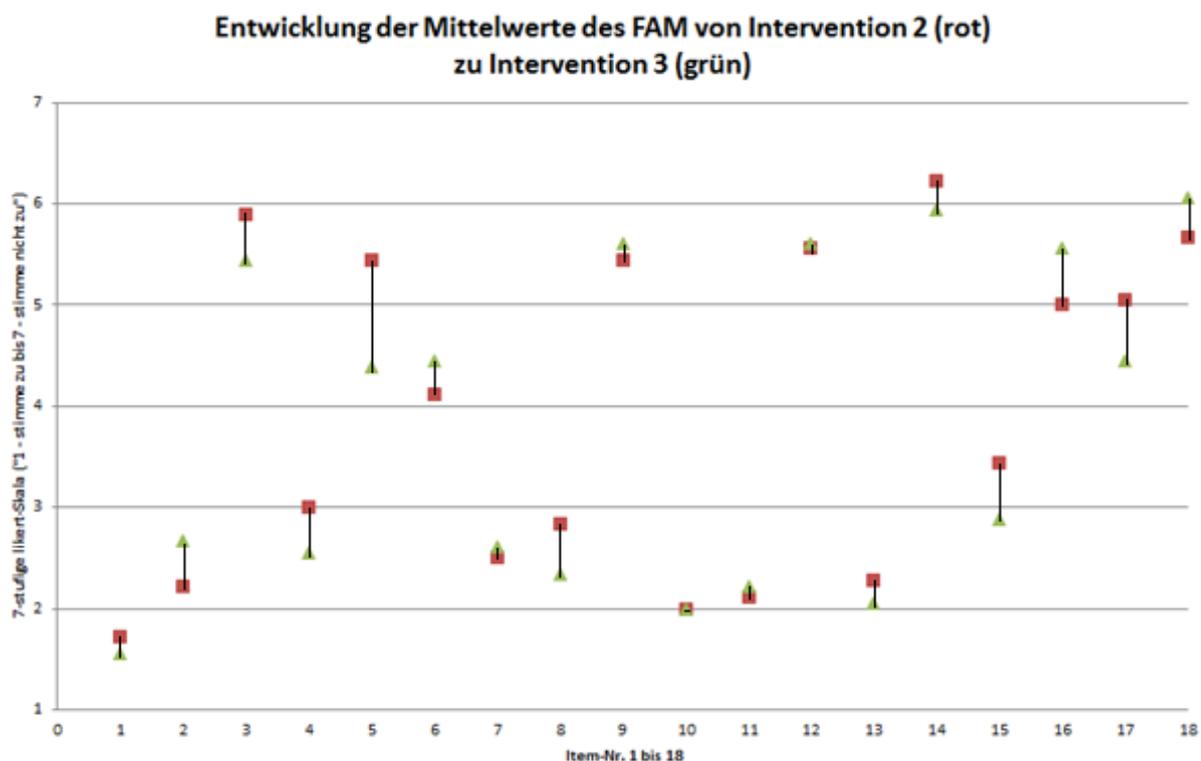


Abbildung 35: FAM-Mittelwerte der IVG 2 im Vergleich zu IVG 3 - graphisch

Bzgl. der Erfolgswahrscheinlichkeit (Items 2,3,13 und 14) befürchten die Schülerinnen und Schüler, im Experiment nicht zu reüssieren und der Schwierigkeit der Versuche nicht gewachsen zu sein. Dennoch vermuten sie stärker als die Interventionsgruppe 2, dass die Experimentierlandschaft von jedem erfolgreich durchlaufen werden kann.

Der Misserfolgsbefürchtung gegenüber (Items 5, 9, 12, 16 und 18) begegnen die Schüler der dritten Interventionsgruppe gelassen. So wirft der Gedanke an die Experimente und die konkreten Leistungsanforderungen keine Beunruhigung auf, noch ist es den Lernenden in irgendeiner Weise unangenehm, beim Experimentieren zu versagen oder sich gar zu blamieren. Jedoch fühlen sich die Studienteilnehmer eher unter Druck (gesetzt), gut abzuschneiden.

Im Hinblick auf den Bereich Herausforderung (Items 6, 8, 10 und 15) geben die Jugendlichen an, die in der Konzeption aufgearbeiteten Experimente seien zwar keine Herausforderung, dennoch signalisierten diese eine hohe Anstrengungsbereitschaft und der Wille zu gutem Abschneiden. Auch sei das erfolgreiche Ableisten der Experimente mit Stolz verbunden.

Fasst man die oben genannten Items in die einzelnen Bereiche zusammen, so ergeben sich folgende Mittelwerte („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“):

Bereich	MW	Anmerkungen und Deutungen
<b>Erfolgswahrscheinlichkeit Mit Item 3 und 14</b>	2,35 4,02	Die Studienteilnehmer rechnen mit einer geringeren Erfolgswahrscheinlichkeit, wie die Werte der jeweiligen Items erkennen lassen. Ein MW von 4,02 scheint dies zunächst nicht zu zeigen, denn: Item 3 und Item 14 sind negativ gerichtet. Während die Items 2,3 und 14 darüber Auskunft geben, dass die Interventionsteilnehmer bei der Einschätzung für die eigene Person sich weniger der Schwierigkeit gewachsen fühlen, die Experimente zu schaffen, trauen sie dies jedoch anderen zu (Item 13).
<i>Item-Nr.13</i>	2,05	
<i>Item-Nr.02</i>	2,66	
<i>Item-Nr.03</i>	5,44	
<i>Item-Nr.14</i>	5,94	
<b>Misserfolgsbefürchtung</b>	5,44	Mit einem MW von 5,44 ist die Misserfolgsbefürchtung unter den Schülern geringfügig höher ausgeprägt als in Intervention 2. Die Teilnehmer der Intervention 3 merken einen größeren persönlichen Leistungsdruck. Sie sind beunruhigter und befürchten eher sich während des Experimentierens zu blamieren. Auch scheint die überarbeitete und anspruchsvollere Variante Leistungsanforderungen zu präsentieren, die die Schüler eher lähmen.
<i>Item-Nr.5</i>	4,38	
<i>Item-Nr.16</i>	5,55	
<i>Item-Nr.9</i>	5,61	
<i>Item-Nr.12</i> <i>Item-Nr.18</i>	5,61 6,05	
<b>Interesse</b>	2,67	Das Interesse an Experimenten und am Experimentieren an sich ist im Vergleich zu Intervention 1 und 2 mit einem MW von 2,67 am stärksten ausgeprägt und zeigt eine deutliche positive Tendenz. Item 1 und 4 besagen, dass die Teilnehmer Experimente und das Austüfteln von Lösungen während des Experiments stärker mögen als IVG 2, jedoch scheinen die Experimente geringfügig weniger interessant zu sein (Item 7) und machen auch ohne Belohnung weniger Spaß (Item 11). Item 17 zeigt mit einem MW von 4,44 an, dass auch von IVG3 derartige Experimente in der Freizeit eher nicht abgeleistet werden würden.
<i>Item-Nr.01</i>	1,55	
<i>Item-Nr.11</i>	2,22	
<i>Item-Nr.04</i>	2,55	
<i>Item-Nr.07</i> <i>Item-Nr.17</i>	2,61 4,44	
<b>Herausforderung</b>	2,91	Wie der Bereich Interesse erfährt die Herausforderung mit einem MW von 2,91 eine ähnliche Steigerung. Das Experimentieren wird engagierter, handlungs- und zielorientierter wahrgenommen.
<i>Item-Nr.10</i>	2,00	
<i>Item-Nr.08</i>	2,33	
<i>Item-Nr.15</i>	2,88	
<i>Item-Nr.06</i>	4,44	

Tabelle 36: FAM nach Bereichen - Interventionsgruppe 3

Nachdem die Studienteilnehmer die ersten drei Experimente der Intervention abgeleistet haben, bearbeiteten diese den Fragebogen zur Flow-Kurz-Skala (FKS) sowie zur Erfassung des motivationalen Zustands. Die einzelnen Items der FKS erfassen die Bereiche Absorbiertheit (A) und Glatter Verlauf (G). Erneut erstreckte sich das Antwortschema von „1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“.

Die Ergebnisse sind der folgenden Übersicht zu entnehmen:

Nr. Item	Bereich	MW	$\sigma$
01. Ich fühle mich im Experiment optimal beansprucht.	A	2,38	0,978
02. Meine Gedanken bzw. Aktivitäten während des Experimentierens laufen flüssig und glatt.	G	2,00	0,840
03. Ich merke beim Experimentieren gar nicht, wie die Zeit vergeht.	A	2,00	1,608
04. Ich habe keine Mühe, mich beim Experimentieren zu konzentrieren.	G	2,38	1,819
05. Mein Kopf ist beim Experimentieren völlig klar.	G	2,05	1,433
06. Ich bin beim Experiment ganz vertieft in das, was ich gerade mache.	A	2,44	1,199
07. Die richtigen Gedanken/Handlungsschritte kommen beim Experimentieren wie von selbst.	G	2,16	1,043
08. Ich weiß bei jedem Schritt des Experiments, was ich zu tun habe.	G	1,83	1,043
09. Ich habe das Gefühl, den Ablauf des Experiments unter Kontrolle zu haben.	G	1,94	1,055
10. Ich bin beim Experimentieren völlig selbstvergessen.	A	4,05	1,731

Tabelle 37: Flow-Kurz-Skala - Interventionsgruppe 3

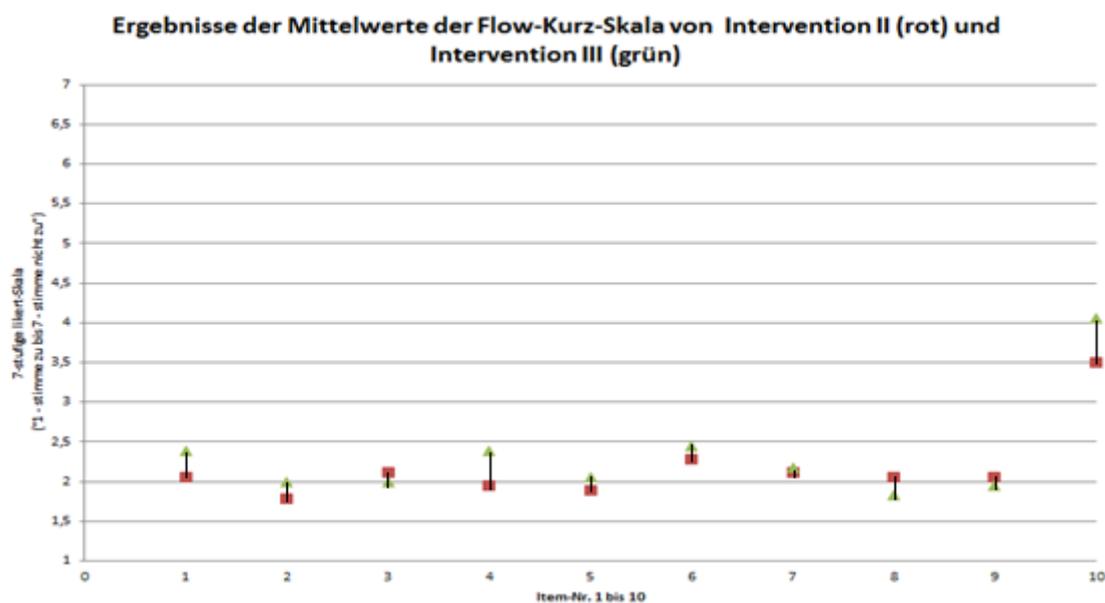


Abbildung 36: FKS - Mittelwerte der IVG 2 im Vergleich zur IVG 3 - graphisch

Hinsichtlich der Absorbiertheit im Vergleich zu Intervention 2 ergeben sich folgende Erkenntnisse:

Die Schüler verlieren beim Experimentieren das Zeitgefühl, sind aber weniger in die experimentelle Tätigkeit vertieft, optimal beansprucht oder gar selbstvergessen. Man sollte bei diesem Ergebnis berücksichtigen, dass zum einen das Niveau der Konzeption in der zweimalig überarbeiteten Fassung hoch ist und zum anderen die Interventionsgruppe an sich leistungsschwächer ist als die anderen Gruppen und größere Probleme bei der Bearbeitung der (Test-) Aufgaben mit dem inhaltlichen Schwerpunkt „Experiment planen und durchführen“ hatte.

Die Frage nach dem ‚Glatten Verlauf‘ während des Experimentierens kann bezugnehmend auf die Intervention wie folgt beantwortet werden: Die Gedanken und Handlungen während des Experimentierens sind weniger klar und konzentriert, obgleich man das Gefühl besitzt, alles unter Kontrolle zu haben und man genau mit weiteren Handlungsschritten vertraut ist.

Fasst man die oben genannten Items in die einzelnen Bereiche zusammen, so ergeben sich folgende Mittelwerte („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“):

Bereich	MW	Anmerkungen und Deutungen
<b>Absorbiertheit</b>	2,72	Im Vergleich zu den Ergebnissen aus Intervention 1 und 2 ist die Absorbiertheit während des Experiments weniger stark empfunden worden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Teilnehmer zwar eher das Gefühl haben, nicht zu merken, wie schnell die Zeit vergeht (Item 3), jedoch fühlen sie sich weniger optimal beansprucht, selbstvergessen und in der Handlung vertieft (Item 1,6,10).
<i>Item-Nr.03</i>	2,00	
<i>Item-Nr.01</i>	2,38	
<i>Item-Nr.06</i>	2,44	
<i>Item-Nr.10</i>	4,05	
<b>Glatter Verlauf</b>	2,06	Das Experimentieren an sich wird mit einem MW von 2,06 als weniger glatt und konzentriert als in den Interventionen 1 und 2 empfunden. Einerseits geben die Probanden an, eher zu wissen was zu tun ist (Item 8) und kontrolliert den nächsten Schritt zu unternehmen (Item 7 und 9), andererseits verlaufen die Gedanken weniger glatt bzw. konzentriert und man scheint eher abgelenkt zu sein (Item 2 und 5)
<i>Item-Nr.08</i>	1,83	
<i>Item-Nr.09</i>	1,94	
<i>Item-Nr.02</i>	2,00	
<i>Item-Nr.05</i>	2,05	
<i>Item-Nr.07</i>	2,16	
<i>Item-Nr.04</i>	2,38	

Tabelle 38: Flow-Kurz-Skala nach Bereichen - Interventionsgruppe 3

Der von den Studienteilnehmern bearbeitete Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes liefert folgende Ergebnisse („1 – trifft zu“ bis „7 – trifft nicht zu“):

Nr. Item	Bereich	MW	$\sigma$
<b>01. Die Aufgabe macht mir noch Spaß.</b>	Aktueller Tätigkeitsanreiz	1,77	1,060

<b>02. Ich bin sicher, die richtige Lösung zu finden.</b>	Aspekt der Selbstwirksamkeit	1,83	0,985
<b>03. Ich habe keinerlei Schwierigkeiten, meine Gedanken beisammen zu halten.</b>	Erleben von anstrengungsfreier Konzentration	2,00	0,907
<b>04. Ich finde die Aufgabe anstrengend.</b>	Erleben von Anstrengung	5,88	1,131
<b>05. Mir ist klar, wie ich weiter vorgehen soll.</b>	Aspekt der Selbstwirksamkeit	2,22	1.060

Tabelle 39: Erfassung des motivationalen Zustands - Interventionsgruppe 3

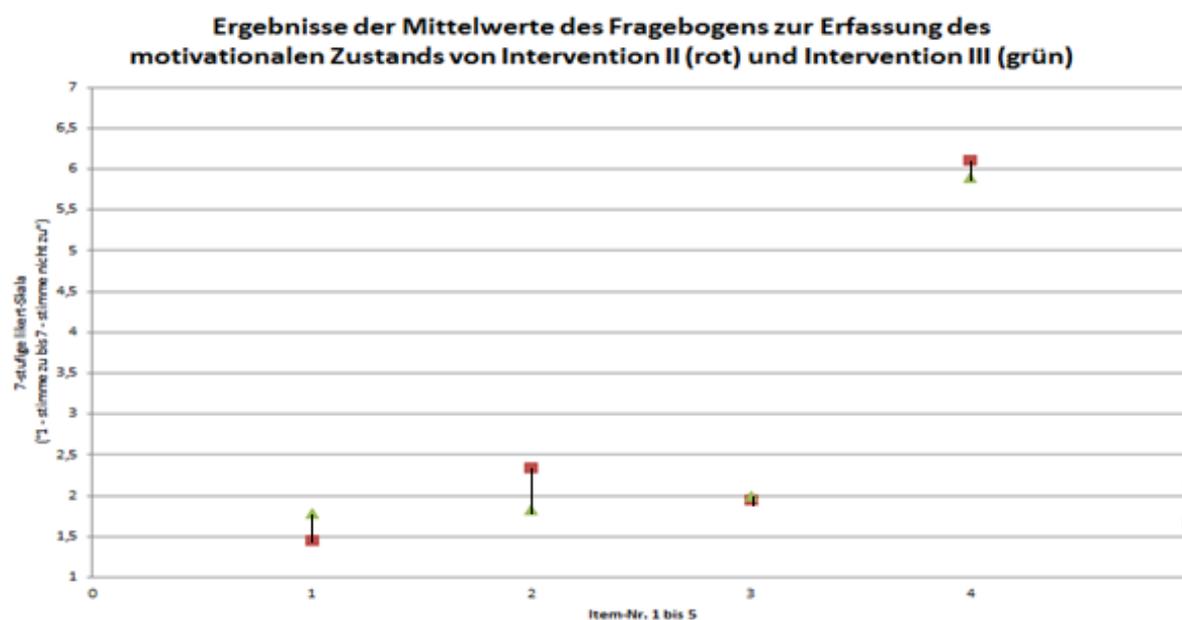


Abbildung 37: FzmZ - Mittelwerte der IVG 2 im Vergleich zur IVG 3 - graphisch

Im Vergleich zu Intervention 2 erkennen die Studienteilnehmer eine hohe Selbstwirksamkeit mit Blick auf das Finden der Lösung und empfinden das Bearbeiten der Experimente als anstrengender. Die Schüler neigen dazu, das Ableisten der Intervention weniger als anstrengungsfrei oder als spaßbringend zu beschreiben. Generell besteht die Befürchtung, nicht zu wissen, wie im Experiment weiter vorgegangen werden soll.

### 1.3 Gruppendiskussion mit den an der Intervention aktiv beteiligten Schülern

Die Schülerinnen und Schüler zeigten sich in der Gruppendiskussion der Thematik gegenüber sehr motiviert, aufgeschlossen und nachhaltig von der Intervention geprägt.

Lobend wurden die authentischen Fragestellungen der einzelnen Experimente, die Abwechslung innerhalb der Experimente (z.B. inhaltliche Schwerpunkte nach Hypothesenformulierung, Planung und Durchführung des Experiments, Deutung der Versuchsergebnisse, Variation von Schüler- und

Demonstrationsexperiment), die klare Sprache und die hilfreichen Arbeitsanweisungen sowie Abbildungen der Begleitmaterialien hervorgehoben.

Im Allgemeinen sei das Interesse am Experimentieren an sich und den der Konzeption zugrundeliegenden Experimenten stark ausgeprägt. Die Atmosphäre während der Intervention sei stets als sehr angenehm empfunden worden, es sei nie der Leistungsdruck durch die Mitschüler oder die Lehrkräfte aufgebaut worden, die anvisierten Ziele um jeden Preis zu erreichen. Der zeitliche Rahmen für die Einzelexperimente und für die Gesamtkonzeption sei bestmöglich gewählt: innerhalb der 90-minütigen Intervention seien für die Schüler weder zeitliche Leerläufe noch Stresssituationen aufgetreten. Allein die Anforderungen und der inhaltliche Anspruch seien zwar herausfordernd, aber bei weitem nicht derart demotivierend, die Experimente nicht abzuleisten oder gar zu versagen.

Den meisten Studienteilnehmern war bewusst, nicht sonderlich gut im Pre-Test abgeschnitten zu haben und befürchteten, den Ansprüchen der experimentellen Konzeption nicht gewachsen zu sein. Insbesondere die große Willensbereitschaft, die eigenen Leistungen zu verbessern, die Intervention als Chance wahrzunehmen, fachliche Defizite und Probleme in naturwissenschaftlicher Arbeitstechnik auszuradieren, ließen eine stärkere Selbstwirksamkeitserfahrung und Anstrengungsbereitschaft in der dritten Interventionsgruppe zu.

Vorschläge, die vorliegende Konzeption abzuändern, wurden von keinem Studienteilnehmer des dritten Interventionsdurchgangs erbracht.

#### **1.4 Beobachtungen durch kooperierende Lehrer**

Im Gespräch mit den kooperierenden Fachkollegen zeigten sich diese angenehm überrascht über den stimmigen Ablauf mit der dritten Interventionsgruppe: auf Grundlage der erzielten Ergebnisse im Pre-Test können die Studienteilnehmer eher als leistungsschwach eingestuft werden, auch lässt nach Aussage einer Lehrkraft die Leistungsbereitschaft im regulären Unterrichtsalltag und die Disziplin oftmals zu wünschen übrig. Aus diesen Gründen waren im Vorfeld der Intervention Zweifel geäußert worden, gerade diese Schülergruppe als Studienteilnehmer auszuwählen.

Aus Sicht der Praxisexperten schienen die Studienteilnehmer der dritten Interventionsphase sehr diszipliniert, konzentriert, umsichtig in der Handhabung der Gerätschaften und hochgradig leistungsbereit.

Bei der Bearbeitung der motivationalen Begleitforschungserhebungsinstrumente sowie der einzelnen Experimente benötigten die Studienteilnehmer zwar mehr Zeit, jedoch schienen diese den Arbeitsanweisungen mit einer höheren Konzentration, Geduld und Ausdauer im Experiment zu folgen als die vorangegangenen beiden Gruppen. Während der Bearbeitung der Schülerexperimente wirkten die Schülerinnen und Schüler selbstvergessen und vollkommen beansprucht im Sinne des Flow-Erlebens. Im Unterschied zu den beiden anderen Interventionsgruppen erfolgten einerseits Planung und Aufbau eines Experiments zwar genauso selbstständig, andererseits sollten die begleitenden Lehrkräfte den Versuchsaufbau oder sonstige Vorschläge vor der eigentlichen Durchführung

nochmals kontrollieren und gegebenenfalls absegnen. Aus dem Blickwinkel der Lehrer sind die Überprüfungen nicht als Zeichen von Unsicherheit zu deuten, eher stand das Erreichen des Ziels verbunden mit einer hohen Selbstwirksamkeits- und Erfolgserwartung im Vordergrund.

Die Fassung der Konzeption (d.h. Experimente, Begleitmaterialien) scheint aus Sicht der Lehrkräfte nach zweimaliger Optimierung optimal zu sein.

### **1.5 Beobachtungen durch die an der Intervention passiv beteiligten Schüler**

Wie bereits in der zweiten Interventionsphase schließen sich die an der Studie passiv beteiligten Schüler den Beobachtungen der Studienteilnehmer an.

### **1.6 Beobachtungen der Studienleiterin**

Sämtliche Beobachtungen der Kooperationspartner können von der Studienleiterin bestätigt werden.

Es scheint, dass die Fassung der Konzeption nach der dritten Interventionsphase eine hohe Wirksamkeit im Hinblick auf folgende Gesichtspunkte besitzt:

1. Die Ergebnisse im Post-Test zeigen selbst bei leistungsschwachen Schülern eine enorme Steigerung. Somit ist die experimentelle Intervention in der Lage, fehlerhafte Schülervorstellungen zu beseitigen bzw. zu optimieren, inhaltbezogenes Fachwissen zu erweitern, wie auch methodische naturwissenschaftliche Arbeitstechniken und fächerübergreifende Kompetenzen zu fördern.
2. Mit Blick auf die Entwicklung von personalen und sozial-kommunikativen Kompetenzen bietet die Konzeption genügend Anreize, sich eigenständig und selbsttätig mit einer Thematik auseinanderzusetzen und diese in Kooperation mit Mitschülern kritisch zu hinterfragen sowie durch Gespräch und Handlung weiterzuentwickeln.
3. Die Resultate aus der motivationalen Begleitforschung zeigen, dass selbst bei steigenden Anforderungen nach wie vor Interesse an den Themen und an den experimentellen Arbeitsweisen, eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit (und niedrige Misserfolgserwartung) und eine angemessene Herausforderung (Handlungs- und Zielanreize) erwartet werden. Fragen nach dem Flow-Erleben im Sinne eines ‚Glatten Verlaufes‘ oder einer Absorbiertheit konnten während der dritten Intervention über mehrere Experimente hinweg zustimmend beantwortet werden. Insgesamt bietet die Konzeption einen hohen Tätigkeitsanreiz und ermöglicht ein hohes Maß an Selbsttätigkeit.

**Fazit**

Insgesamt ist es verfehlt, von einem Endprodukt oder gar einer optimalen Lösung eines Problems zu schreiben, da es aus Sicht der Autorin kein perfektes Vorzeigeprodukt gibt, das allen Ansprüchen vollkommen gerecht wird.

Eher entspricht das Endprodukt einer Annäherung an einen Idealzustand, der immer wieder Facetten enthält, die in weiteren Phasen bzw. DBR-Zyklen ergänzend optimiert werden können (z.B. Themenkomplex bodennahes Ozon).

In der Studie konnte gezeigt werden, dass die Schülerinnen und Schüler enorme Verbesserungen hinsichtlich des Fachwissens, methodischer Arbeitstechniken und der konkreten Umsetzung von Handlungsmustern und Verhaltenstechniken in der kompetenzorientierten Experimentiersituation erzielten.

Daher wird auf einen weiteren optimierten Zyklus aus oben genannten Gründen verzichtet.

## **X. Interpretationsphase**

### **1. Auswertung und Analyse der erhobenen Daten aus den Interventionsphasen 1 bis 3 nach ausgewählten Forschungsfragen**

In der Analysephase der Intervention 1 bis 3 wurden sowohl die (quantitativen) Ergebnisse zur Erfassung der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen als auch zur motivationalen Erfassung rein deskriptiv ausgewertet.

Im folgenden Abschnitt findet eine genaue statistische Beschreibung der erhaltenen Daten statt, ehe man sich ausgewählten Forschungsfragen widmet.

#### **1.1 Beschreibung der Studienteilnehmer**

Insgesamt nahmen 54 Schüler und Schülerinnen an der Intervention teil, wovon 46,3% männlich und 53,7% weiblich waren. Das Alter der Studienteilnehmer lag im Mittel bei 16,26 Jahren.

#### **1.2 Auswertung des Fragebogens zur Aktuellen Motivation (FAM)**

In Anlehnung an das von Falko RHEINBERG (o.J.) verfasste Skript bezüglich der Auswertung des Fragebogens zur Aktuellen Motivation (FAM) werden zunächst Skalen gebildet. Dabei selektiert eine Hauptkomponentenanalyse sechs latente Faktoren. Laut der Theorie des FAM verbergen sich hinter den 18 Items vier latente Skalen (Interesse, Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit, Herausforderung). Aus diesem Grunde wird bei der weiteren Hauptkomponentenanalyse die Faktoranzahl mit vier Faktoren vorgegeben.

Da davon auszugehen ist, dass die Evaluierung des FAM an einer Stichprobe geschehen ist, die in ihren Eigenschaften der Grundgesamtheit entspricht, findet die im Anleitungsskript nach Falko Rheinberg vorgeschriebene Zuordnung für die vorliegende Stichprobe (n=54) Verwendung. Daher werden die Skalen Interesse, Herausforderung, Misserfolgsbefürchtung und Erfolgswahrscheinlichkeit nach den Vorgaben von F. Rheinberg erzeugt. Hierbei gilt zu beachten, dass aus der Skala Erfolgswahrscheinlichkeit die Items 3 („Wahrscheinlich werde ich die Experimente nicht schaffen.“) und 14 (Ich glaube, ich schaffe die Experimentiererei nicht.“) rekodiert werden müssen.

Für die Reliabilität der einzelnen Skalen ergibt sich:

<b>Skala</b>	<b>Cronbach's Alpha</b>
Interesse	0,735
Erfolgswahrscheinlichkeit	0,642
Misserfolgsbefürchtung	0,655
Herausforderung	0,517

*Tabelle 40: Reliabilität der Skalen - FAM*

Die deskriptive Statistik über die Gesamtgruppe (n=54) ergibt:

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Interesse	1,2	5,6	2,9259	0,9172
Erfolgswahrscheinlichkeit	1	4,25	2,1065	0,7870
Misserfolgsbefürchtung	3,2	7	5,5481	1,0448
Herausforderung	1	5,5	3,1759	0,9475

Tabelle 41: Deskriptive Statistik - FAM

Nachstehendes Liniendiagramm spiegelt die über die Interventionsgruppen I bis III ermittelten Mittelwerte (n= 54) über die Items 1 bis 18 wider:

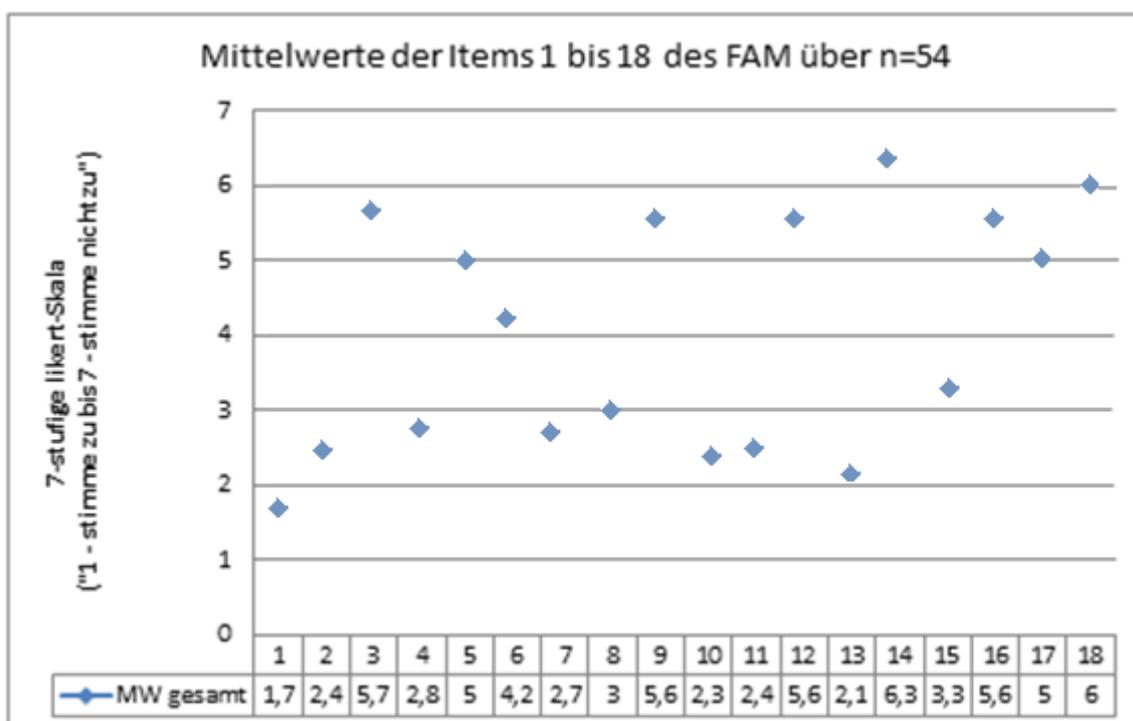


Abbildung 38: Mittelwerte des FAM über n=54 nach Items gegliedert – absolut (gerundet) und graphisch

Während sich die oben skizzierte Auswertung des FAM auf die Gesamtheit der an der praktischen Intervention beteiligten Schüler (n=54) bezog, gibt die nachstehende Übersicht eine Auskunft über die Mittelwerte der FAM-Einzelitems und deren Entwicklung von Interventionsphase 1 (n=18) über Interventionsphase 2 (n=18) zu Interventionsphase 3 (n=18):

Nr. Item [Bereich]	MW-1	MW-2	MW-3
01. Ich mag Experimente und das Experimentieren an sich. [I]	1,94	1,72+	1,55+
02. Ich glaube, der Schwierigkeit der Experimente gewachsen zu sein. [E]	2,22	2,22o	2,66-
03. Wahrscheinlich werde ich die Experimente nicht schaffen. [E]	5,88	5,88o	5,44-
04. Bei experimentellen Aufgaben mag ich es, die Lösung auszutüfteln. [I]	2,88	3,00-	2,55+
05. Ich fühle mich unter Druck, bei Experimenten gut abschneiden zu müssen. [M]	5,05	5,44+	4,38-
06. Experimente sind eine richtige Herausforderung für mich. [H]	4,05	4,11+	4,44+
07. Nach dem Lesen der Anleitung erscheinen mir diese Experimente sehr	2,88	2,50+	2,61-

interessant. [I]			
08. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde. [H]	3,72	2,83+	2,33+
09. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich beim Experimentieren blamieren könnte. [M]	5,88	5,44+	5,61-
10. Ich bin fest entschlossen, mich bei den Experimenten voll anzustrengen. [H]	2,83	2,00+	2,00o
11. Bei Experimenten wie diesen brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß. [I]	2,77	2,11+	2,22-
12. Es ist mir etwas peinlich, hier beim Experimentieren zu versagen. [M]	5,55	5,55o	5,61+
13. Ich glaube, das Experiment kann jeder schaffen. [E]	1,83	2,27-	2,05+
14. Ich glaube, ich schaffe die Experimentiererei nicht. [E]	6,61	6,22-	5,94-
15. Wenn ich das Experiment schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein. [H]	3,44	3,44o	2,88+
16. Wenn ich an die weiteren Experimente denke, bin ich etwas beunruhigt. [M]	6,22	5,00+	5,55-
17. Solche Experimente würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten. [I]	5,61	5,05+	4,44+
18. Die konkreten Leistungsanforderungen des Experiments lähmen mich. [M]	6,16	5,66+	6,05-

Tabelle 42: Entwicklung der Mittelwerte des FAM von Interventionsgruppe 1 zu 3 (+ Verbesserung/Steigerung zum vorangegangenen Wert, - Verschlechterung zum vorangegangenen Wert, o identischer Wert) – absolut

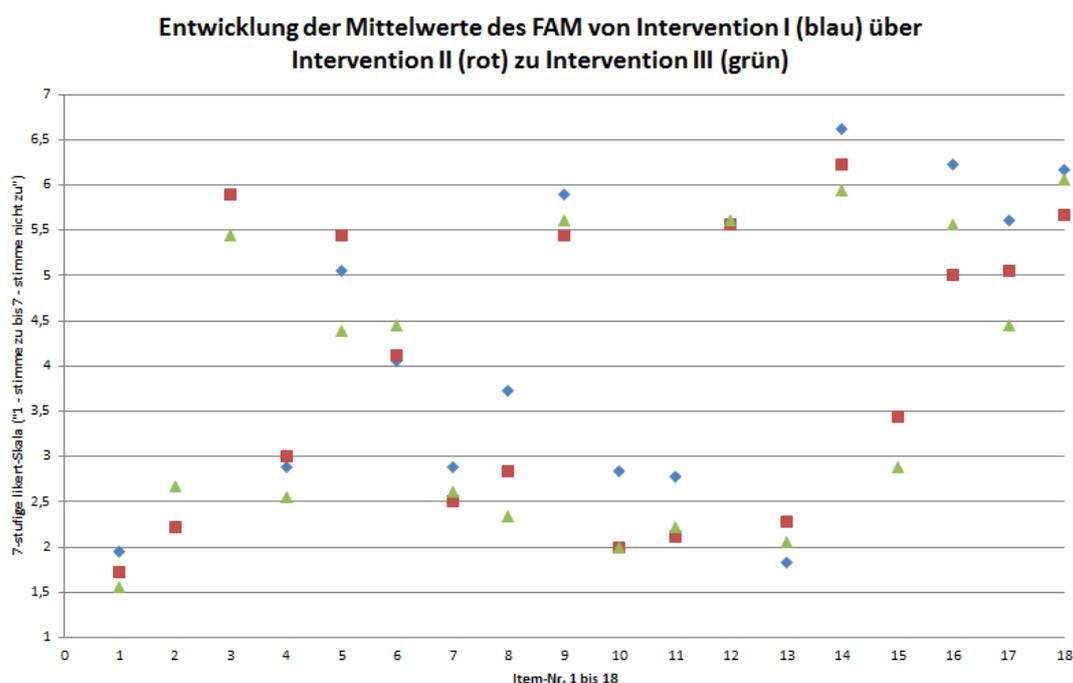


Abbildung 39: Entwicklung der Mittelwerte des FAM von Interventionsgruppe 1 zu 3 – graphische Darstellung

Folgende Tendenzen können aus dem Vergleich der Resultate abgeleitet werden:

- Interesse:

Die Items 1 und 17 zeigen eine stetige Steigerung des Interesses an Experimenten und dem Experimentieren an sich sowie der Bereitschaft, derartige Experimente auch in der Freizeit fernab des schulischen Kontextes zu bearbeiten. Item 4 lässt erkennen, dass die Interventionsgruppe 2 weniger gewillt ist, eine Lösung auszutüfteln als Interventionsgruppe 1. Dafür spiegelt das Ergebnis der dritten Interventionsgruppe das größte Interesse wider, Lösungen im Experiment auszuarbeiten.

Eine Interessenssteigerung zur ersten Gruppe verdeutlichen die Items 7 und 11. Auf die Interventionsgruppe 2 wirken die Experimente interessanter als auf Interventionsgruppe 1, auch benötigen diese beim Experiment keine Belohnung. Beide Items erfahren eine leichte Abschwächung im Verlauf zur Interventionsgruppe 3, wobei die Mittelwerte der letzten Gruppe mehr Interesse erkennen lassen, als die der ersten Gruppe.

- Erfolgserwartung:

Anhand der Items 2 und 3 ist von der ersten zur zweiten Interventionsgruppe keine Veränderung hinsichtlich der Annahme, den Experimenten gewachsen zu sein und diese erfolgreich absolvieren zu können, zu verzeichnen. Die dritte Interventionsgruppe, die vorab im Pre-NAW-Test im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen schlechter abgeschnitten hat, lässt für beide Items eine geringere Erfolgserwartung erkennen.

Item 13 deutet von Interventionsgruppe 1 zu Interventionsgruppe 2 eine schwach negativ gerichtete Vermutung an, dass jeder das Experiment schaffen kann, wohingegen die präsentierte situierte Lehr-Lern-Umgebung unter der Interventionsgruppe 3 wiederum positive Zustimmung hinsichtlich der Erfolgserwartung äußert. Item 14 erfährt von Interventionsgruppe 1 bis 3 eine zunehmende Befürchtung, die Experimentiererei nicht zu schaffen.

- Herausforderung:

Mit zunehmender Komplexität und Optimierung der experimentgestützten Intervention wird von der ersten bis zur dritten Gruppe eine ansteigende Herausforderung der Experimente empfunden (Item 6). Gleichzeitig erhält die Antwort von Gruppe 1 zu Gruppe 3 immer weiter an Gewicht, wie gut man abschneiden werde (Item 8). Während die erste Gruppe eine stimmige Tendenz zeigt, sich bei den Experimenten anzustrengen, erfährt Item 10 über die letzten beiden Gruppen eine Aufwertung, die gleich stark ausgeprägt ist. Die Antwort auf die Frage, ob sie Stolz auf die eigene Tüchtigkeit beim erfolgreichen Experimentieren sind (Item 15), bringt einen Mittelwert von 3,44 hervor. Eine deutliche Zustimmung findet dieses Item in der dritten Interventionsgruppe mit einem Mittelwert von 2,88.

- Misserfolgsbefürchtung:

Im Vergleich zu Interventionsgruppe 1 fühlt sich die Interventionsgruppe 2 eher unter Druck gesetzt, gut abschneiden zu müssen (Item 5) oder befürchtet gar sich beim Experimentieren zu blamieren (Item 9). Item 5 wird von Interventionsgruppe 3 weniger stark empfunden, Item 9 jedoch zeigt eine gewisse Furcht, sich beim Versuch lächerlich zu machen. Eine ähnliche Tendenz besitzt Item 12, wobei sich die ersten beiden Gruppen mit einem Mittelwert von 5,55 nicht voneinander unterscheiden und es der letzten Gruppe geringfügig peinlicher wäre, beim Experimentieren zu versagen. Eine ähnliche Entwicklung der Antworten zu Item 16 und 18 zeigt, dass von Interventionsgruppe 1 zu 2 die Tendenz zu erkennen ist, die konkreten Leistungsanforderungen wie auch die gesamte Experimentiersituation als beunruhigend zu empfinden. Die letzte Interventionsgruppe gibt bei der Konfrontation mit der Situation an, den Herausforderungen noch weniger gewachsen zu sein und beunruhigter zu sein.

### 1.3 Auswertung der Flow-Kurz-Skala (FKS)

Nach ähnlichem Verfahren wie im FAM erfolgt die Auswertung der Daten zur Flow-Kurz Skala. Eine Hauptkomponentenanalyse selektiert drei latente Faktoren. Laut den Hinweisen zur Auswertung der Flow-Kurz-Skala (FKS) nach Falko Rheinberg verbergen sich hinter den 10 Items zwei latente Faktoren (Absorbiertheit und Glatter Verlauf). Somit wird bei einer weiteren Hauptkomponentenanalyse die Faktorenanzahl mit zwei Faktoren vorgegeben.

Die Reliabilität der Skalen Absorbiertheit und Glatter Verlauf ergibt sich folgendermaßen:

Skala	Cronbach's Alpha
Absorbiertheit	0,468
Glatter Verlauf	0,851

Tabelle 43: Reliabilität der Skalen - FKS

Die deskriptive Statistik der Skalen liefert folgende Ergebnisse:

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-abweichung
Absorbiertheit	1	4,5	2,7593	0,83407
Glatter Verlauf	1	4,5	1,9722	0,83349

Tabelle 44: Deskriptive Statistik - FKS

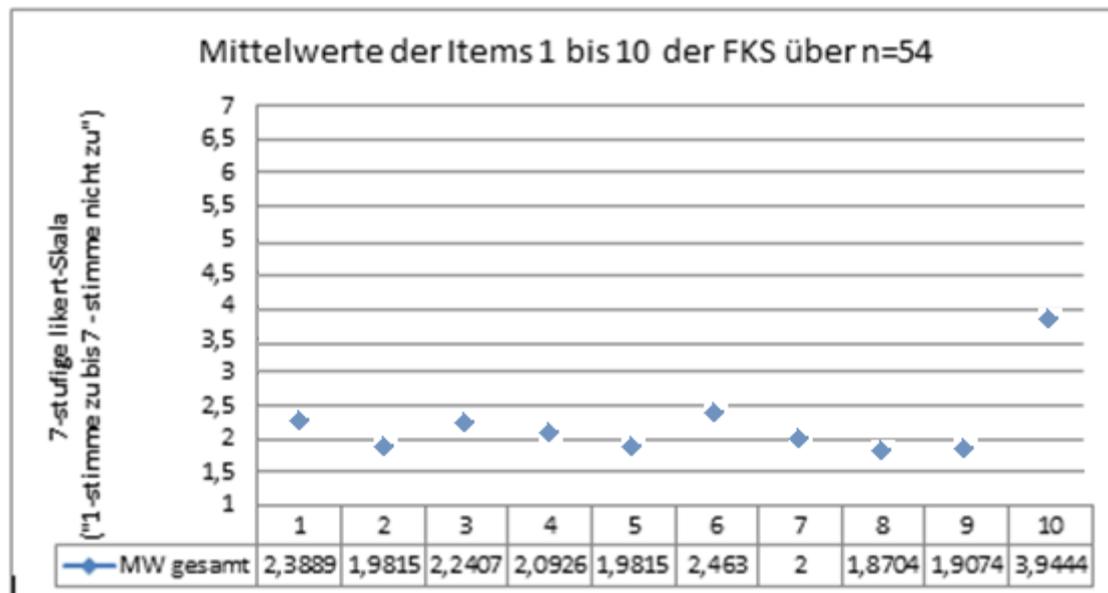


Abbildung 40: Mittelwerte der FKS über n=54 nach Items gegliedert – absolut (gerundet) und graphisch

Während sich die oben skizzierte Auswertung der FKS auf die Gesamtheit der an der praktischen Intervention beteiligten Schüler (n=54) bezog, gibt die nachstehende Übersicht eine Auskunft über die Mittelwerte der FKS-Einzelitems und deren Entwicklung von Interventionsphase 1 (n=18) über Interventionsphase 2 (n=18) zu Interventionsphase 3 (n=18):

Nr. Item [Bereich]	MW 1	MW 2	MW 3
01. Ich fühle mich im Experiment optimal beansprucht. [A]	2,72	2,05+	2,38-
02. Meine Gedanken bzw. Aktivitäten während des Experimentierens laufen flüssig und glatt. [G]	2,16	1,77+	2,00-
03. Ich merke beim Experimentieren gar nicht, wie die Zeit vergeht. [A]	2,61	2,11+	2,00+
04. Ich habe keine Mühe, mich beim Experimentieren zu konzentrieren. [G]	1,94	1,94o	2,38-
05. Mein Kopf ist beim Experimentieren völlig klar. [G]	2,00	1,88+	2,05-
06. Ich bin beim Experiment ganz vertieft in das, was ich gerade mache. [A]	2,66	2,27+	2,44-
07. Die richtigen Gedanken/Handlungsschritte kommen beim Experimentieren wie von selbst. [G]	1,72	2,11-	2,16-
08. Ich weiß bei jedem Schritt des Experiments, was ich zu tun habe. [G]	1,72	2,05-	1,83+
09. Ich habe das Gefühl, den Ablauf des Experiments unter Kontrolle zu haben. [G]	1,72	2,05-	1,94+
10. Ich bin beim Experimentieren völlig selbstvergessen. [A]	4,27	3,50+	4,05-

Tabelle 45: Entwicklung der Mittelwerte der FKS von Interventionsgruppe 1 zu 3 (+ Verbesserung/Steigerung zum vorangegangenen Wert, - Verschlechterung zum vorangegangenen Wert, o identischer Wert) - absolut

Alle Items zur *Absorbiertheit* erfahren von Interventionsgruppe 1 zu 2 eine Aufwertung, d.h. die Teilnehmer fühlen sich im Experiment noch optimaler beansprucht, verlieren eher das Zeitgefühl beim Experimentieren, sind selbstvergessener und vertiefter in ihr Tun. Mit Ausnahme von Item 3 unterliegen die Antworten der letzten Interventionsgruppe einer Abschwächung zur zweiten Gruppe. Dennoch sind die Antworten von Interventionsgruppe 3 noch positiver (mit Ausnahme von Item 10) als die der ersten Interventionsgruppe.

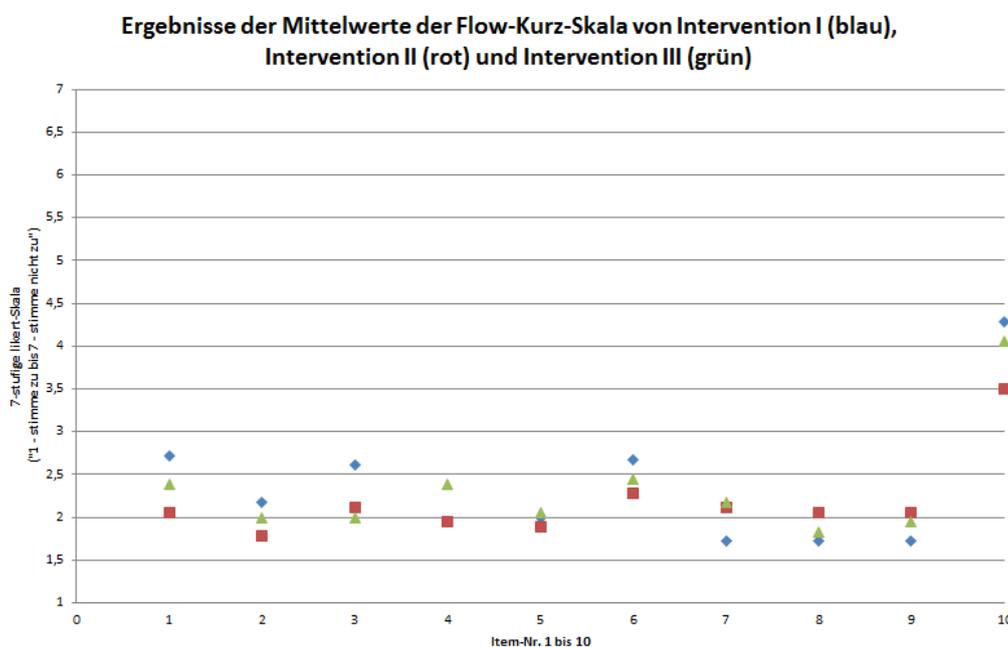


Abbildung 41: Entwicklung der Mittelwerte der FKS von Interventionsgruppe 1 zu 3 - graphisch

Die Antworten zum *Glatten Verlauf* ergeben ein durchmischteres Muster, denn sie weisen allesamt eine positive Konnotation auf (Mittelwerte im Bereich von 1,72 bis 2,38). Die Items zum Glatten Verlauf können in zwei Kategorien abgebildet werden: die erste Kategorie hängt mit der

Experimentiersituation zusammen (Item 2, 4 und 5), die zweite Kategorie mit den dargebotenen Experimenten und den Begleitmaterialien (Item 8 und 9).

In der zweiten überarbeiteten Fassung schneiden die Items 2, 4 und 5 besser oder gleich ab als im Prototyp, d.h. die Gedanken verlaufen flüssiger, eine konzentrierte und klare Atmosphäre ist eher gegeben. Die Aufarbeitung der zweiten Fassung lässt erkennen, dass die Schüler weniger genau wissen, was zu tun ist (Item 8) und nicht immer das Gefühl haben, den Ablauf des Experiments zu kontrollieren (Item 9). Eine weitere Überarbeitung der Konzeption wird von der Interventionsgruppe 3 wie folgt beurteilt: Die Gedanken bzw. Aktivitäten verlaufen während des Experimentierens nicht so flüssig wie in Gruppe 2, aber stärker als in Gruppe 1. Auch scheinen die Schüler deutlich mehr Mühe zu haben, sich zu konzentrieren und den Kopf klar zu haben. Dafür zeigen Item 8 und 9, dass man genau über den nächsten Schritt im Experiment Bescheid weiß und das Gefühl besitzt, alles unter Kontrolle zu haben.

#### 1.4 Auswertung des Fragebogens zum motivationalen Zustand

Analog zum Auswertungsverfahren des FAM und der FKS ergibt sich:

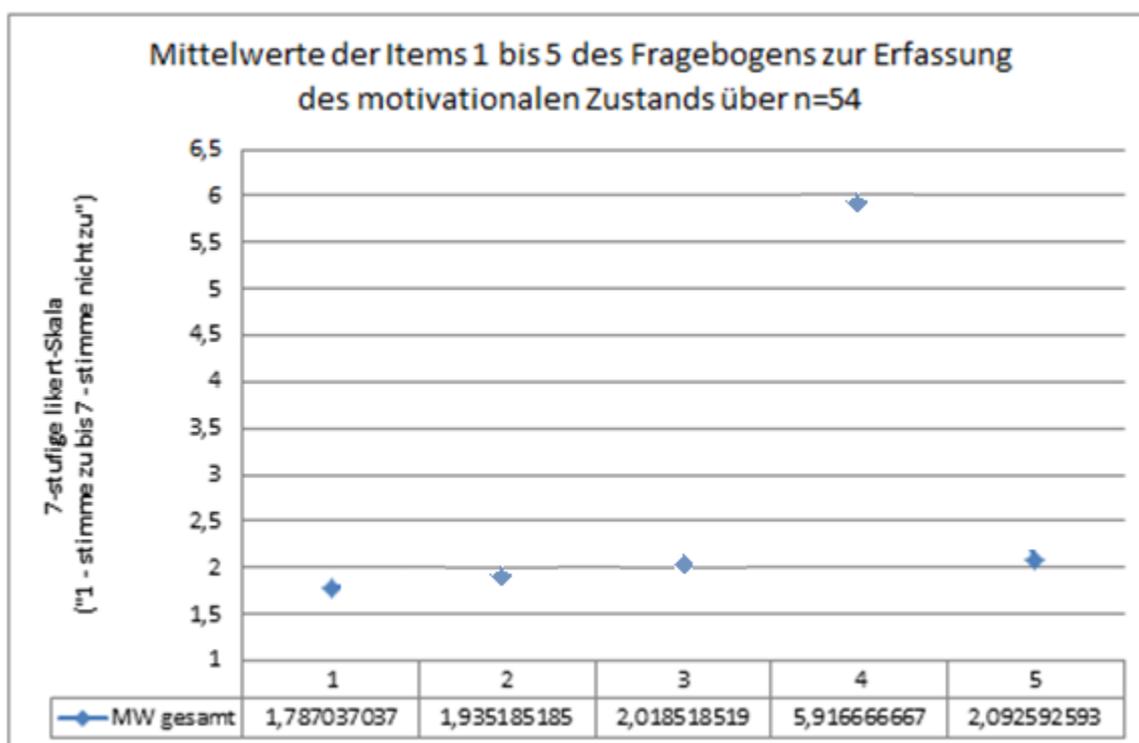


Abbildung 42: Mittelwerte des Fragebogens zur Erfassung des motivationalen Zustands über n=54 nach Items gegliedert – absolut (gerundet) und graphisch

Die Entwicklung der Mittelwerte zum Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes von Interventionsgruppe 1 (n=18) über Interventionsgruppe 2 (n=18) zu Interventionsgruppe 3 (n=18) liefert folgende Erkenntnisse:

Nr. Item	Bereich	MW 1	MW 2	MW 3
01. Die Aufgabe macht mir noch Spaß.	Aktueller Tätigkeitsanreiz	2,16	1,44+	1,77-
02. Ich bin sicher, die richtige Lösung zu finden.	Aspekt der Selbstwirksamkeit	1,94	2,33-	1,83+
03. Ich habe keinerlei Schwierigkeiten, meine Gedanken beisammen zu halten.	Erleben von anstrengungsfreier Konzentration	2,16	1,94+	2,00-
04. Ich finde die Aufgabe anstrengend.	Erleben von Anstrengung	5,83	6,11+	5,88-
05. Mir ist klar, wie ich weiter vorgehen soll.	Aspekt der Selbstwirksamkeit	2,00	1,66+	2,22-

Tabelle 46: Entwicklung der Mittelwerte des Fragebogens zur Erfassung des motivationalen Zustands von Interventionsgruppe 1 zu 3 (+ Verbesserung/Steigerung zum vorangegangenen Wert, - Verschlechterung zum vorangegangenen Wert, o identischer Wert) - absolut

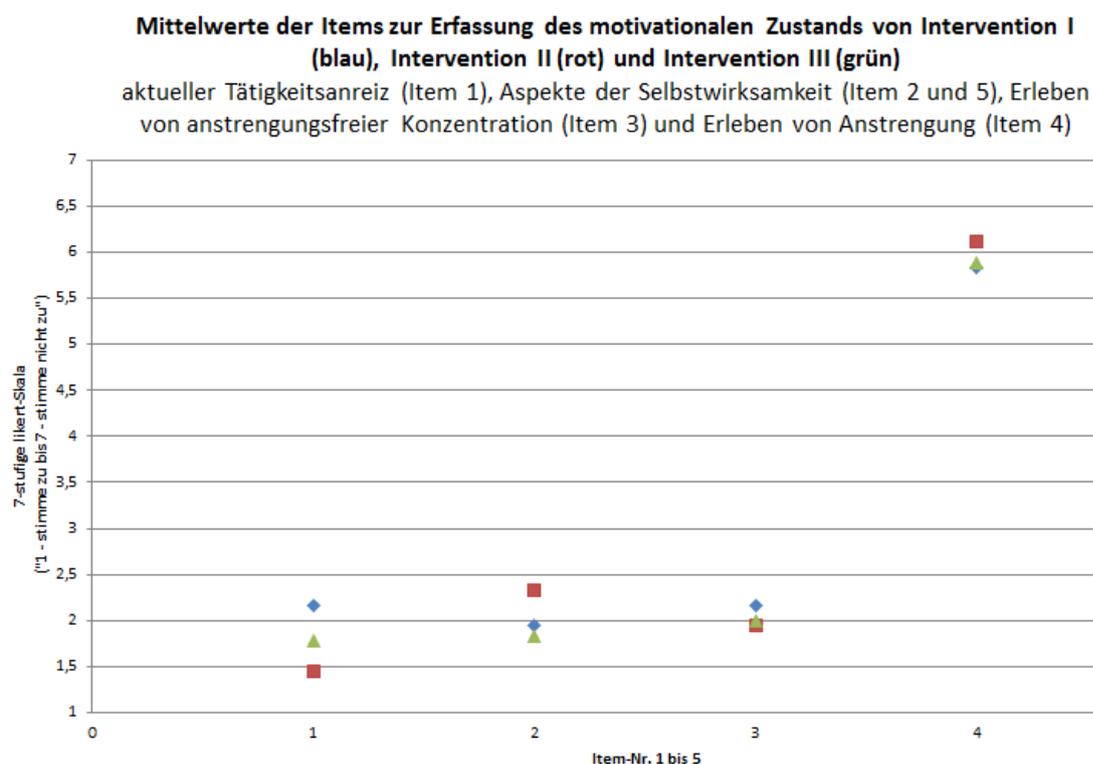


Abbildung 43: Mittelwerte der Items zur Erfassung des motivationalen Zustands von Interventionsgruppe 1 zu 3 - graphisch

Der aktuelle Tätigkeitsanreiz (Item 1) ist in Intervention 2 noch stärker vorhanden als im Prototyp. Erkennbar am MW von 1,77 gibt die Interventionsgruppe zwar ein marginal schlechteres, aber immer noch sehr positives Ergebnis an. Interessant ist hierbei die Standardabweichung von über 1,00: Ob die Aufgabe Spaß macht oder nicht, wird im Vergleich zu den ersten beiden Interventionsgruppen differenzierter beantwortet.

Die Frage nach dem Aspekt der Selbstwirksamkeit beantworten die Ergebnisse von Item 2 und Item 5. Während Item 2 („Ich bin mir sicher, die richtige Lösung zu finden“) eine leichte Abwertung von Interventionsgruppe 1 zu 2 erfährt, lässt der MW von 1,83 der letzten Interventionsgruppe eine optimalste Erfahrung von Selbstwirksamkeit erkennen. Item 5 spiegelt wider, dass die Beschaffenheit der Intervention 2 den Teilnehmern am besten Klarheit verschafft, wie weiter vorgegangen werden soll. In der dritten, aber auch leistungsschwächsten Interventionsgruppe, wird der Aspekt der Selbstwirksamkeit am wenigsten erfahren. Aus der genauen Betrachtung der Standardabweichung von über 1,00 ist abzuleiten, dass die Spanne zwischen den Schülern, denen es klar bzw. unklar ist, wie weiter vorgegangen werden soll, groß ist.

In der zweiten Version wird am stärksten bestätigt, keine Schwierigkeit zu haben, die Gedanken beisammen zu halten (Item 3). Das Erleben von anstrengungsfreier Konzentration wird von der dritten Gruppe weniger intensiv empfunden, aber stärker als von den Erstprobanden.

Bei Item 4 lässt sich aus den gegebenen Antworten entnehmen, dass die überarbeitete, anspruchsvollere Version als anstrengender empfunden wird, als es die Teilnehmer der ersten Phase angeben. Mit einem MW von 5,88 wird ‚Anstrengung‘ während des Experimentierens fast genauso wahrgenommen wie von Interventionsgruppe 1.

### **1.5 Steigerung der Leistungen nach Skalen im Post-Test durch das Ableisten der experiment-gestützten Konzeption**

Es soll der Frage nachgegangen werden, ob die experimentelle Lehr-Lern-Umgebung eine Steigerung der erzielten Punkte im Post-Test bewirkt.

Um dies zu beantworten, werden folgende Ergebnisse präzise analysiert:

- Punktescore (pre)
  - die Skalen Hypothese (pre), Experiment (pre) und Schlussfolgerung (pre)
- im Vergleich zu

- Punktescore (post)
- die Skalen Hypothese (post), Experiment (post) und Schlussfolgerung (post)

Aus der Gegenüberstellung ergibt sich, dass in allen untersuchten Bereichen signifikante Leistungssteigerungen vorliegen.

In einer Analyse zur Punktescoredifferenz wird überprüft, ob ausschließlich Leistungsverbesserungen oder auch –verschlechterungen nach dem Durchlaufen der experimentgestützten Konzeption aufgetreten sind. Hierfür wird die Differenz aus dem Punktescore (post) und dem Punktescore (pre) betrachtet. Der Punktescore befindet sich ausschließlich im positiven Bereich zwischen 2% (ID 17) und 55% (ID 49). Im Mittel liegt der Post-Punktescore um 25 Prozentpunkte höher als der Pre-Punktescore.

### 1.6 Zusammenhang Schulnoten und Ergebnisse im Leistungstest

Der Psychologieprofessor schlug im Rahmen des Expertenratings vor, die Aufnahme der personenbezogenen Daten um die Frage nach der zuletzt erzielten Zeugnisnote in den Fächern Geographie und Physik zu ergänzen. Um einen Zusammenhang zwischen den Schulnoten in beiden Unterrichtsfächern und den im Leistungstest erzielten Ergebnissen festzustellen, muss zunächst überprüft werden, ob eine Normalverteilung vorliegt.

Für den Punktescore des Pre-Tests und die Kategorien Halbjahresnote Geographie und Halbjahresnote Physik liegt eine Normalverteilung vor, für den Punktescore im Post-Test jedoch nicht.

Dabei erhält man folgende Ergebnisse:

1. Für den Punktescore des Pre-Tests (für  $n=292$ ) unterscheiden sich die Mittelwerte in den einzelnen Halbjahresnoten des Fachs Geographie nicht signifikant ( $p$ -Wert=0,169). Für die Halbjahresnote im Fach Physik zeigt sich jedoch ein signifikanter Effekt ( $p$ -Wert=0,049).
2. Beim Punktescore im Post-Test unterscheidet sich die zentrale Tendenz in den einzelnen Halbjahresnoten des Fachs Geographie nicht signifikant ( $p$ -Wert=0,3459). Für die Halbjahresnote im Fach Physik zeigt sich jedoch ein signifikanter Effekt ( $p$ -Wert=0,002).

Folglich können sowohl das Erhebungsinstrument als auch die experimentelle Lehr-Lern-Umgebung unabhängig von den erzielten Halbjahresleistungen bearbeitet werden. Allerdings werden Schüler, die sich ansonsten leistungsstark im Unterrichtsfach Physik zeigen, tendenziell sowohl in der experimentellen Intervention leichter tun als auch im schriftlichen Test bessere Ergebnisse erzielen. Die Zeugnisnote im Unterrichtsfach Geographie besitzt keinen Einfluss auf die Ableistung der experimentellen Lernlandschaft oder auf die Bearbeitung des Tests.

### 1.7 Unterschiede zwischen Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmern

Weiterhin wird untersucht, ob ein geschlechterspezifischer Unterschied im Leistungstest und in der motivationalen Begleitforschung vorliegt.

In den Pre-Test-Skalen Hypothese ( $p$ -Wert=0,770), Experiment ( $p$ -Wert=0,984), Schlussfolgerung ( $p$ -Wert=0,249) kann ebenso wie in den Post-Test-Skalen Hypothese ( $p$ -Wert=0,748), Experiment ( $p$ -Wert=0,285), Schlussfolgerung ( $p$ -Wert=0,410) kein Unterschied bei den Geschlechtern festgestellt werden.

Die Untersuchung der motivationalen Effekte ergibt folgendes Resultat:

Die Skalen zum Bereich "Glatter Verlauf" und die Items "Die Aufgabe macht mir noch Spaß.", "Ich bin sicher, die richtige Lösung zu finden.", "Ich habe keinerlei Schwierigkeiten, meine Gedanken beisammen zu halten.", "Ich finde die Aufgabe anstrengend." und "Mir ist klar, wie ich weiter vorgehen soll." des Fragebogens zur Erfassung des motivationalen Zustandes sind ebenfalls nicht normalverteilt.

Die Skalen "Erfolgswahrscheinlichkeit" und "Misserfolgsbefürchtungen" des FAM sind signifikant verschieden ( $p$ -Wert=0,007 bzw.  $p$ -Wert=0,005).

Mädchen schätzen ihre Erfolgswahrscheinlichkeit im Mittel schlechter ein als Jungen und haben zudem höhere Misserfolgsbefürchtungen.

### **1.8 Zusammenhang zwischen der motivationalen Begleitforschung zu den Messzeitpunkten vor und während der experimentellen Intervention**

Es wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen aus der Flow-Kurz-Skala, dem Fragebogen zur Erfassung des motivationalen Zustandes und den Skalen des Fragebogens zur Aktuellen Motivation vorliegt.

Dabei ergeben sich folgende, signifikant positive Zusammenhänge zwischen

- Absorbiertheit und Interesse bzw. Herausforderung
- Glatter Verlauf und Erfolgswahrscheinlichkeit, Interesse bzw. Herausforderung
- dem aktuellen Tätigkeitsanreiz (Item „Die Aufgabe macht mir noch Spaß“) und Interesse bzw. Herausforderung
- dem Aspekt der Selbstwirksamkeit (Item „Ich bin sicher, die richtige Lösung zu finden“) und Erfolgswahrscheinlichkeit bzw. Interesse
- dem Erleben anstrengungsfreier Konzentration (Item „Ich habe keinerlei Schwierigkeiten, meine Gedanken beisammen zu halten“) und Erfolgswahrscheinlichkeit
- dem Aspekt der Selbstwirksamkeit (Item „Mir ist klar, wie ich weiter vorgehen soll“) und Erfolgswahrscheinlichkeit bzw. Herausforderung

Daraus lässt sich ableiten, dass Interventionsteilnehmer mit starkem Absorbiertheitsempfinden und ausgeprägtem Interesse eher eine Herausforderung annehmen als solche, die von Beginn an ein eher geringes Interesse der situierten Lehr-Lern-Umgebung entgegenbringen und während der Versuchsdurchführung tendenziell ablenkbar sind.

Schüler, die das Absolvieren der Intervention als glatt empfinden, geben zu Beginn an, ein großes Interesse zu haben und eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit zu erwarten, so dass diese eher dazu neigen, die Herausforderung anzunehmen.

Interventionsteilnehmer, die sich selbst eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit zutrauen und Interesse äußern, erfahren eher Aspekte der Selbstwirksamkeit während des Experimentierens und nehmen den gesamten Ablauf konzentriert und anstrengungsfrei wahr.

Je stärker der Aspekt der Selbstwirksamkeit empfunden wird, desto eher schreiben sich die Gymnasiasten eine Aussicht auf Erfolg bei gleichzeitig wachsender Herausforderung zu.

### **1.9 Vergleich des Punktescore im Pre-Test der Interventionsgruppe (n=54) mit dem der weiteren Leistungstestteilnehmer (n=292)**

Ferner wird überprüft, ob sich die erreichten Punkte der Interventionsgruppe (n=54) im Pre-Leistungstest signifikant von denen der Nicht-Interventionsteilnehmer (n=292) unterscheiden. Hierfür wird zunächst der Punktescore der Erhebung im Pre-Test getrennt nach Interventionsgruppe einem Normalverteilungstest unterzogen.

Aus diesem resultiert, dass der mittlere erreichte Punktescore von 57% der Interventionsteilnehmer nicht signifikant von dem mittleren Score der weiteren Leistungstestteilnehmer von 65% abweicht ( $p$ -Wert $<0,001$ ).

## **2. Output der Studie – Implikationen für die Unterrichtspraxis, fachdidaktische Theoriebildung und Forschungspraxis**

In dem von PLOMP & NIEVEEN (2013) herausgegebenen Werk 'Educational design research Part B: Illustrative cases' werden auf unterschiedlichsten Maßstabsebenen (Grundschule, Sekundarstufe 1 und 2, Lehrerbildung, Universität) Studien vorgestellt, die sich mit Design Research und Design-based Research auseinandersetzen.

In Anlehnung an die dort angeführten 51 Forschungsarbeiten und die mit dem Deutschen Planspielpreis 2015 ausgezeichnete Dissertation von KNOGLER (2014) verzichtet die Studie auf eine strikte Trennung der Forschungsergebnisse im Sinne von design theories, design frameworks und design methodologies nach EDELSON (2002). Stattdessen konzentriert sich die Darstellung des Outputs der Studie auf eine praktikable Aufarbeitung von Implikationen für die Unterrichtspraxis, die fachdidaktische Theoriebildung und die Forschungspraxis.

DBR-Studien möchten einen Beitrag zur Theorieentwicklung sowie zur Praxisverbesserung leisten, womit neben evaluierten Unterrichtsmaterialien (z.B. Handreichungen, experimentgestützte Lernstationen) neue Erkenntnisse für die Fachdidaktik, die Lehr-Lern-Psychologie oder den forschungsmethodischen Ansatz gewonnen werden sollen.

Wie bereits in Kapitel B.2 beschrieben wurde, existieren häufig fehlerhafte Schülervorstellungen zur Ozon- und Strahlungsthematik. Die Bearbeitung des für die Studie konzipierten Fachwissenstests konnte dies bestätigen, da die Antworten der beteiligten Schüler ähnliche Schwächen zu Tage brachten. Die dabei erzielten Leistungen im Fachwissenstest liegen im mittleren Bereich und geben folgende Auskünfte zur scientific literacy:

Die Gymnasiasten haben z.T. nicht nur große Probleme hinsichtlich der fachwissenschaftlichen, sondern auch der fachmethodischen Kompetenzen, wodurch deutliche Schwächen in der naturwissenschaftlichen Grundbildung aufgedeckt wurden.

Zwar sind den Gymnasiasten Experimente aus den Schülerübungen der Physik und der Chemie bekannt, jedoch scheint eine Implementation der methodischen Großform im Geographieunterricht, wie in der Studie gezeigt, besondere Reize hervorzurufen und ist daher prädestiniert, diese Mängel zu beheben.

### **2.1 Implikationen für die Unterrichtspraxis**

Das Anliegen der Studie liegt in der Schließung einer in der Unterrichtspraxis und Wissenschaft identifizierten „Lücke“, die inhaltlich eine klare Abtrennung der Ozon(loch)- und Strahlungsartenthematik von der Treibhauseffekt-Vorstellung verfolgt.

Um den anvisierten Output ‚Implikationen für die Unterrichtspraxis‘ zu ermöglichen, wurde zum Themenkomplex ‚Ozonherstellung, Simulation des Ozonlochs wie auch Strahlungsarten‘ ein vielfältiges, mehrfach evaluiertes Lernangebot entwickelt, das dem Unterrichtspraktiker nun zur Verfügung steht.

Insgesamt umfasst das Lernangebot folgende Elemente:

### - **Experimente**

Die kompetenzorientierte, experimentgestützte situierte Lehr-Lern-Umgebung arbeitet anhand von fünf mehrmals evaluierten Experimentierstationen die Inhalte

- Untersuchung der Energie und der Wärmewirkung von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung
- UV-Strahlung: Wirkung auf organische Körper und Schutzkonzepte
- Absorptionsverhalten ausgewählter Materialien vor UV-Strahlung
- Ozonherstellung unter dem Aspekt der UV-absorbierenden Wirkung und Temperaturveränderung
- Simulation des Ozonlochs

auf.

Dabei stehen der Lehrkraft die ersten beiden Experimentierstationen in zwei Versionen zur Auswahl, wohingegen die Experimente drei bis einschließlich fünf in drei Differenzierungsvarianten unterschiedlicher inhaltlicher sowie methodischer Komplexität zur Verfügung stehen.

Folglich steht es dem Gymnasiallehrer frei, welche Experimentvariante für die individuellen unterrichtspraktischen Belange gewählt wird. Überlegungen zur tatsächlichen Implementation sollten sich an den identifizierten fachinhaltlichen und fachmethodischen Kompetenzen der Schüler, den organisatorischen wie auch materiellen Rahmenbedingungen orientieren.

### - **Materialien**

Zu den eben genannten Experimenten brachte die Studie Begleitmaterialien hervor, die als Handreichung für den Unterrichtspraktiker dienen. So werden zu jedem Experiment in Form von Arbeitsblättern die dem Experiment zugrundeliegende Fragestellung, der Experimentaufbau sowie die Durchführung erklärt sowie gezielte Arbeitsaufträge genannt. Je nach Fragestellung wird von den Schülern die Formulierung einer Hypothese, die eigenständige Experimentplanung, -durchführung sowie -auswertung als auch die Niederschrift der Schlussfolgerung abverlangt. Dabei bedienen die Aufgabenformate die Anforderungsbereiche ‚Reproduktion‘, ‚Reorganisation‘ und ‚Transfer‘. In Anlehnung an die mehrmals empirisch geprüften und optimierten Experimente sind auch die Begleitmaterialien in drei unterrichtspraktisch erprobten Differenzierungsvarianten verfügbar.

### - **Erhebungsinstrumente**

Mit dem unterrichtlichen Einsatz der kompetenzorientierten, experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung ist die Frage verbunden, welche Förderpotentiale hinsichtlich fachinhaltlicher und fachmethodischer Kompetenzen verbunden sind. So besteht für den Unterrichtspraktiker die Möglichkeit, die kognitiven und methodischen Fortschritte der Schüler durch den gezielten Einsatz des NAW-Fachwissenstest zu überprüfen. Durch die Bearbeitung der kompetenzorientierten Aufgaben zu den Themen Ozon, Ozonloch und Strahlungsarten können Rückschlüsse gezogen werden, in welcher Qualität die fachinhaltlichen und fachmethodischen Kenntnisse der Schüler optimiert wurden.

Während des weitestgehend eigenständigen Ableistens der situierten Lehr-Lern-Umgebung systematisiert ein für die Studie entwickelter Beobachtungsbogen nach ausgewählten Kriterien die

wahrgenommenen Eindrücke der Lehrkraft und liefert weitere Rückschlüsse zur Wirksamkeit des Lernangebots.

Der Output für die Unterrichtspraxis besteht somit aus konkreten Produkten (d.h. Experimente, Materialien, Erhebungsinstrumente), die allesamt mehrmals evaluiert und überarbeitet wurden, um die anvisierten Ziele des Trainierens und Schulens fachinhaltlicher und fachmethodischer Kompetenzen zu den Themen Ozon, Ozonloch und Strahlungsarten bestmöglich zu erreichen.

*Zusammengefasst ergeben sich folgende Produkte für die Unterrichtspraxis*

1. Die Studie brachte eine kompetenzorientierte, experimentgestützte und situierte Lehr-Lern-Umgebung hervor, die drei unterschiedliche Schwierigkeitsgrade und Differenzierungsvarianten besitzt. Sämtliche Experimente sind auf die in der Literatur aufgezeigten Schülervorstellungen abgestimmt und spiegeln den experimentellen Algorithmus im Sinne des Kompetenzentwicklungsmodells nach HAMMANN (2004) wider.
2. Identisches gilt für die Handreichung und die Begleitmaterialien (z.B. Experimentieranleitung, Arbeitsblätter): Ergänzt werden die Materialien durch didaktisch-methodische Hinweise zur Ausgestaltung von Experimentierumgebungen.
3. Der für die Studie entwickelte Leistungstest als auch der Beobachtungsbogen sollen den Unterrichtspraktikern die Möglichkeit geben, mit Hilfe von kompetenzorientierten Aufgaben den Lernfortschritt ihrer Schüler zu beobachten und eigene Eindrücke besser zu systematisieren.

Im Zuge des iterativen und fortwährend optimierten DBR-Zyklus wurde eine Vielzahl an Gestaltungsmerkmalen eines kompetenzorientierten Experimentierens im Geographieunterricht identifiziert, die nun im nachfolgenden Abschnitt aufgearbeitet werden sollen.

## **2.2 Beiträge zur fachdidaktischen Theoriebildung**

Die Wirksamkeit einer kompetenzorientierten experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung im Hinblick auf die Erweiterung und Schulung fachinhaltlicher und fachwissenschaftlicher Kompetenzen der Schüler hängt sicherlich nicht vom alleinigen Einsatz des Lernangebots ab, sondern von der Beschaffenheit der Experimente, der Experimentieraufträge und der Qualität der Begleitmaterialien. Dementsprechend spielen kognitive, methodische und lernpsychologische Überlegungen beim Design der Experimente eine entscheidende Rolle, um die anvisierten Zielsetzungen bestmöglich zu erfüllen.

Somit lautet die **Forschungsfrage 1 zu den Gestaltungsprinzipien einer experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung in der Geographiedidaktik:**

*Welche Gestaltungsmerkmale sollte eine experimentgestützte situierte Lehr-Lern-Umgebung zum Gegenstand ‚Ozon und Strahlungsarten‘ in der Geographiedidaktik aufweisen, um die fachwissenschaftlichen und fachmethodischen Kenntnisse und Kompetenzen der Schüler zu erweitern und zu trainieren?*

Gegliedert nach einschlägigen Merkmalen brachte die Studie folgende Erkenntnisse hervor:

### **1. Gestaltungsmerkmal ‚wissenschaftliche Klärungen und Schülervorstellungen‘**

Die inhaltliche und methodische Entwicklung eines Experiments dieser Studie basiert auf der Sichtung und Gegenüberstellung von fachlichen Klärungen und Schülervorstellungen zu den Themen Ozon, Ozonloch und Strahlungsarten. Mit Hilfe einer Strukturierung nach ausgewählten Gesichtspunkten, d.h. Fragestellungen, die im Experiment untersucht werden, erfolgt die Ableitung von inhaltlichen und fachmethodischen Überlegungen zum konkreten Design der Experimentierumgebung.

Daher sieht die Autorin der Studie in der Auseinandersetzung mit wissenschaftlichen Ansichten und Lernervorstellungen nicht nur den Ausgangspunkt theoriebasierter Entwicklung und Umsetzung eines Experimentvorschlags, sondern insbesondere das maßgebliche Gestaltungsmerkmal einer experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung, das die Optimierung von Schülervorstellungen verfolgt.

Bereits in diesem Schritt werden auch generelle Rahmenbedingungen der Unterrichtspraxis (z.B. Bereitstellung der Experimentiermaterialien und –gerätschaften, Einhaltung einer Experimentierdauer von 45 bis 90 Minuten, Gewährleistung der geltenden Sicherheitsbestimmungen) in die weiteren Überlegungen des Experimentdesigns und der Umsetzung aufgenommen.

### **2. Gestaltungsmerkmal ‚Kompetenzentwicklungsmodell des Experimentierens‘**

Das Kompetenzentwicklungsmodell des Experimentierens nach HAMMANN (2004) aus der Biologiedidaktik dient als grundlegende Schablone, die in der vorliegenden Studie auf geographiedidaktische Bedürfnisse angepasst worden ist. So liegt der Fokus der Gestaltungsmerkmale der geographiedidaktischen Experimente und Experimentierumgebung einerseits auf Prozess- und Personenvariablen, andererseits werden die klassischen Elemente Kompetenzstruktur, Kompetenzniveaustufe und Kompetenzentwicklung unter Berücksichtigung der identifizierten Vorstellungen gleichauf beachtet.

#### **- Kompetenzstruktur**

Die in der Studie designten Experimente bilden allesamt als elementares Merkmal den naturwissenschaftlichen Algorithmus von Hypothesenformulierung, Experimentplanung und Experimentdurchführung wie auch Schlussfolgerung ab.

#### **- Kompetenzniveaustufe**

Die Arbeitsaufträge der einzelnen Experimente entsprechen - wie in der Studie gezeigt - den Anforderungsbereichen Reproduktion, Reorganisation und Transfer. Je nach Formulierung des Arbeitsauftrags werden unterschiedliche Teilkompetenzen des Experimentierens abgeprüft.

#### **- Kompetenzentwicklung**

An vorderster Stelle steht der Anspruch, ein Wissen zu generieren, welches in multiplen Kontexten anwendbar und auf weitere Situationen übertragbar sein soll. Dementsprechend spielen neben

fachinhaltlichen und fachmethodischen Gestaltungsmerkmalen zum Design der Experimente weiterführende Überlegungen zu personenbezogenen Variablen (z.B. motivationale Einflussfaktoren, Alter der Schüler) für die Wirksamkeit der vorliegenden Konzeption eine entscheidende Rolle.

### **3. Gestaltungsmerkmale einer kompetenzorientierten Experimentierumgebung**

Auf Grundlage der Studienergebnisse lassen sich die Gestaltungsmerkmale eines kompetenzorientierten Experiments aus der Geographiedidaktik nach folgenden Gesichtspunkten gliedern:

- **Optimierung der fachinhaltlichen und fachmethodischen Kompetenzen der Schüler auf Produkt- und Prozessebene**

Dies kann nur gelingen, wenn das Wissen vom Lernenden weitestgehend handlungsorientiert sowie in Selbsttätigkeit und gegebenenfalls im sozialen Miteinander angeeignet wird. Im Sinne des pragmatischen Konstruktivismus ersetzt die fachspezifische Auseinandersetzung mit Alltagsmomenten die alleinige Weitergabe von Fachinhalten. Neben dem Gestaltungsprinzip der Schülerorientierung, die für eine eigenständige Bewältigung einer komplexen und herausfordernden Problemsituation steht, sollen die Prinzipien der Kumulativität und der Output-/Outcome-Orientierung Berücksichtigung finden: Die in der Studie verwendete situierte experimentelle Lehr-Lern-Situation ermöglicht das systematische Einüben von Fähigkeiten und Fertigkeiten, fordert Vernetzungen des Gelernten ein und hält an, den Weg der Problemlösung zu reflektieren, um schrittweise Kompetenzen aufzubauen. Angemerkt sei an dieser Stelle, dass alle eben genannten Gestaltungsprinzipien nur nachhaltige Effekte bewirken, wenn derartige Lehr-Lern-Kulturen kontinuierlich und gezielt in die Unterrichtspraxis implementiert werden.

### **Gestaltungsmerkmale der Experimente nach inhaltlich-methodischen Überlegungen:**

In der Studie erwiesen sich die folgenden *Gestaltungsmerkmale* als *grundsätzlich* zielführend beim Experimentieren im Geographieunterricht:

- Die inhaltliche und methodische Präsentation des Experiments soll als Antriebsfeder zur Lösung eines Problems verstanden werden. In der Konzeption und direkten Konfrontation mit der situierten Lehr-Lern-Umgebung müssen neben einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit und einer geringen Misserfolgsbefürchtung spezielle Anknüpfungspunkte gegeben sein, die auf Interesse stoßen und eine Herausforderung einleiten. Dabei soll, wie in der Studie gezeigt, das Experimentieren als Tätigkeitsanreiz durch eine interesseinduzierende Darstellung an sich als auch das sichere Erfüllen der anvisierten Ziele derart verlaufen, dass sowohl prozess- als auch ergebnisbezogene Anreize ab der ersten Gegenüberstellung gegeben sind.
- Die individuelle Handlungsfreiheit der Schüler erwies sich bei gleichzeitig stringenter Einhaltung des naturwissenschaftlichen Dreiklangs im Leistungstest, in der situierten Lehr-Lern-Situation und in den Begleitmaterialien als zielführender Ansatz. Es wurde gezeigt, dass

die Schüler ihren Weg zur Bewältigung der Situation selbst wählen und den individuellen handlungsorientierten Lösungsprozess gemeinsam unter Nutzung der dargebotenen Möglichkeiten (Experimentiermaterialien, Anleitungen, Diskussion mit den Mitschülern) selbst bewältigen können.

- Die Experimentiersituation sollte möglichst mit einer Vignette beginnen. In der Studie wird jede einem Experiment zugrundeliegende Fragestellung durch eine einführende Situationsbeschreibung (z.B. Artikelausschnitt aus der Tagespresse, Erklärungen zum Versuchsaufbau oder zu Materialien, Handhabung der Gerätschaften in der Durchführung) aufgeworfen. Die entsprechenden Aufgabenstellungen schließen sich unmittelbar an. So kann der Schüler auf Basis der gebotenen Information unabhängig von seinem Vorwissen die Experimentieraufgabe bewältigen. Von Beginn an wird mit Hilfe einer klaren Struktur den Schülern das Thema des Experiments vorgestellt, wodurch Inhalte benannt und Ziele eindeutig formuliert sind.
- Das Design der Experimentierumgebung spiegelt eine Unabhängigkeit der einzelnen Experimente wider, d.h. die in der Studie aufgearbeiteten Experimente können unabhängig voneinander bearbeitet werden. So fungiert das Experiment 3 als Kontrollexperiment, um zu überprüfen, inwieweit multiples Wissen in den beiden vorangegangenen Experimenten generiert wurde und somit in weiteren Situationen und Kontexten gezielt Anwendung erfährt.
- Die in den einzelnen Experimenten angedachten Arbeitsaufträge prüfen unterschiedliche inhaltliche wie auch methodische Teilkompetenzen ab. Folglich sollte die Konzeption der Überlegung Rechnung tragen, inwieweit eine kumulative Experimentierkultur gefördert wird. Beispielsweise zeigen die in der Studie verwendeten Experimente ein wiederholtes Aufgreifen von experimentellen Teilkompetenzen in komplexeren Kontexten.
- Experimente sollen die Auseinandersetzung mit Originalgegenständen arrangieren, um eine möglichst authentische reale Situation zu simulieren und die Qualität der Messergebnisse als belastbar und glaubhaft einzustufen. Darüber hinaus erwies sich die Verwendung des Smartphones zur Zeitmessung wie auch photographischer Dokumentation der Experimentiererergebnisse als zeitgemäßes und brauchbares tool. Exemplarisch wurde in Experiment 2 der Studie die schädigende Wirkung von UV-Strahlung auf organische Körper im Bildvergleich eindrucksvoll festgehalten.
- Der Erklärungsgehalt der Experimente fußt auf eindeutigen reproduzierbaren quantitativen Verfahren der Erkenntnisgewinnung wie auch auf qualitativen Zugängen und kombinierten Ansätzen bei denen sowohl quantitative als auch-qualitative Erkenntniswege bestritten werden. Die Antworten des Fachwissenstests ergaben, dass die Experimente von quantitativ-qualitativem Charakter durch das Zeigen eines Effekts spez. in Kombination mit einer konzentrierten Messung die größte Optimierung von Schülervorstellungen hervorbringt.
- Experimente sollten die Möglichkeit der Variablenisolation, -kombination und -variation umfassen. Die Ergebnisse der Studie belegen, wie das Experiment 1 durch eine gezielte Variablenisolation, Experiment 2 durch eine Variablenvariation und Experiment 3 durch eine Variablenkombination eine deutliche Optimierung der Schülervorstellungen bei gleichzeitiger Schulung fachmethodischer Überlegungen bewirkten.

Darüber hinaus zeigten die im Folgenden dargestellten *spezifischen Gestaltungsmerkmale* für den Themenbereich Ozon, Ozonloch und Strahlungsarten positive Wirkungen:

- Inhaltliche Ergänzungen der Experimente während der Aufarbeitung eines bisher ungeklärten Sachverhalts, die durch die Schülervorstellungen fortwährend aufgegriffen werden (z.B. Untersuchung des zeitlichen *und* temperaturabhängigen Verlaufs der Ozonherstellung).
- Inhaltliche und methodische Reduzierung der Komplexität eines Sachverhalts durch die Beschränkung auf einen zu untersuchenden Forschungsgegenstand (z.B. klare Trennung von energetischen und thermischen Eigenschaften der Strahlungsarten).
- Inhaltliche Abgrenzung eines Gegenstands zu weiteren ähnlichen Themen (z.B. Abgrenzung der Ozonkonzentration in der Stratosphäre von der in der Troposphäre).
- Methodische Freiräume der Experimentierumgebung für das Aufarbeiten von Fragestellungen der Schüler und alternative Handlungsschritten (z.B. Erweiterung des Experimentiermaterials bei der Untersuchung der schädigenden Wirkung von UV-Strahlung auf Gegenstände)
- Feinere Differenzierung und Abgrenzung des naturwissenschaftlichen Dreiklangs durch Erstellen weiterführender Teilaufgaben (z.B. weitere Experimentplanung und Experimentdurchführung für das Überprüfen einer weiteren Hypothese in Experiment 3)
- Hilfestellungen bei der Auseinandersetzung mit Modellen durch Herstellung von lebensnahen Alltagsbezügen und das Wiederaufgreifen in weiterführenden Thematiken (z.B. Aufnahme derartiger Kontexte in die Experimentierkonzeption und in die Handreichung); gegebenenfalls spontane mündliche Hilfestellung durch die Lehrkraft (z.B. Exkurs zu den Entstehungsmechanismen von Ozon).
- Starke Schüleraktivierung durch vertiefte Einbindung in Beobachtungsaufträge, Untersuchungen und Messungen (z.B. weiterführende Überprüfung des UV-schädigenden Potentials auf organische Körper, Messung des zeitlichen und thermischen Verlaufs bei Bestrahlungsvorgängen sowie der Ozonherstellung/-vernichtung).
- Komplexitätsreduktion der gewonnenen Daten, indem die Messergebnisse in ein anschaulicheres Format (z.B. Diagramme) übertragen werden und die Inhalte der Darstellung somit leichter zu vergleichen sind (z.B. Übertragung des zeitlichen Temperaturverlaufs der drei Strahlungsarten in t-T-Diagramme).
- Beibehaltung der Versuchsmaterialien, jedoch Ergänzung um weitere Arbeitsaufträge unter Verwendung lebensnaher tools (z.B. Smartphone zur Zeitmessung und fotografischen Dokumentation)
- Handlungsaufforderungen zur gezielten Schulung einer Teilkompetenz durch Variation von Erarbeitungs-, Kontroll- und Bestätigungsexperiment: z.B. Konfrontation der Schüler mit einer Hypothese wie in Experiment 3 der Studie, d.h. die Schüler müssen eigenständig ein Experiment zur Überprüfung planen, aufbauen und durchführen zum Zwecke der Verifizierung bzw. Falsifizierung;
- Die eindeutige Handhabung der Gerätschaften der einzelnen Experimente soll als selbsterklärend für alle Akteure eingestuft werden und der beständigen Ausstattung eines Gymnasiums entsprechen.

- Auf jeden Fall soll die Durchführung und Anwendung der experimentellen Lehr-Lern-Situation durch jeden *Lehrer* zu bewältigen sein, so dass keinerlei Hemmschwellen aufgeworfen werden, das Experiment im eigenen Unterricht einzugliedern. Dabei spielt neben der eindeutigen Handhabung und Anwendung von Gerätschaften auch der Einsatz von Materialien eine entscheidende Rolle, da dem Umgang mit Modellen und dem Transfer theoretischer und experimentell gewonnener Erkenntnisse in die Realität Rechnung getragen wird.
- Durch das Experimentieren werden die *Schüler* mit den Gerätschaften vertraut und Hemmnisse, sich diesen zu nähern und auch tatsächlich einzusetzen, werden abgebaut. Der zunehmend routinierte Umgang schlägt sich, wie in der Studie beobachtet, positiv in weiteren experimentellen Aufgabenstellungen anderweitiger Themen nieder.
- Experimente sollen variablenbedingte Zusammenhänge abbilden und gleichzeitig die Fachsprache trainieren (z.B. wurde in der Studie das Erkennen von direkter Proportionalität, die genaue Nennung von Einheiten und Prozessen der Absorption verlangt).
- optimale Gestaltung der Experimentierdauer an unterrichtspraktischen Rahmenbedingungen von 45 bis 90 Minuten angelehnt (z.B. wurde in der Studie dieses Zeitfenster gewählt, um einerseits demotivierende Langeweile bzw. Zeitdruck zu vermeiden, gleichzeitig um auf inhaltliche wie auch methodische Anmerkungen der Schüler eingehen zu können).
- Innerhalb der Aufgabenstellung der in der Studie entwickelten Experimente bestehen Freiheitsgrade hinsichtlich der Wahl der Sozialform (Lösung der gestellten Aufgabe in arbeitsgleichen bzw. arbeitsteiligen Gruppen, Wahl der Einzel-/Partner- oder Gruppenarbeit) sowie der Binnendifferenzierung (z.B. Schüler kann den Grad der Aktivität seiner Teilnahme selbst bestimmen oder auch zusätzliche Aufgaben bearbeiten bzw. eigene Fragestellungen aufwerfen) als auch der Variation von instruktiven und konstruktiven Elementen.
- Die Lösung des konkreten Problems entspricht einer stark kognitiv aktivierenden und handlungsgeprägten Phase, die nur erfolgreich bewältigt werden kann, wenn für alle Schüler ein ähnliches Vorwissen – wie in der Studie durch die Kurzbeschreibung zur Experimentiersituation - bereitgestellt wie auch methodische Fähigkeiten vorab trainiert worden sind. Dabei sollten die einzelnen Experimentiersituationen multiple Kontexte widerspiegeln und in unterschiedliche Perspektiven eingebettet sein, womit eine Abkehr von einem klar definierten Spezialwissen hin zur Kompetenz angestoßen werden kann.
- **Optimierung der fachinhaltlichen und fachmethodischen Kompetenzen der Schüler unter Berücksichtigung von personenbezogenen Variablen**

#### **Gestaltungsmerkmale der Experimente nach lernpsychologischen Überlegungen:**

- Die Konzeption der Experimente soll das Kompetenzerleben und die Selbstwirksamkeit unter den Schülern stärken, indem sowohl ein leistungsthematischer Anreiz geschaffen als auch ein mittlerer Schwierigkeitsgrad gewählt wird.

- Inhalt und Methodik der Experimente sind interessant und klar strukturiert zu gestalten.
- Gewährleistung einer sozialen Eingebundenheit aller am Experimentieren Beteiligten.

In der Studie wurde gezeigt, dass die entwickelten Experimente inhaltlich als auch methodisch weder Über- (=Frustration) noch Unterforderung (=Langeweile) unter den Schülern aufkommen ließen.

Um das richtige Maß hinsichtlich angemessener Schwierigkeit und leistungsthematischem Inhalt in den Experimenten abzubilden, braucht es eine gewisse Expertise und langfristige Routine im Umgang mit Schülern. Sowohl der Studienleiterin als auch weiteren Unterrichtspraktikern sollten - wie in der Studie durch Expertenratings erforscht - bekannt sein, welche Themen und Aktivitäten unter den Probanden auf großes Interesse und Anwendungsbereitschaft stoßen. Dementsprechend können zielgruppenspezifische Anpassungen (z.B. Gymnasiasten der 10. Jahrgangsstufe) den Weg zum angemessenen Schwierigkeitsgrad der fachwissenschaftlichen und fachmethodischen Ansprüche ebnen und somit als erfolgsversprechendes Gestaltungsmerkmal eines Experiments benannt werden.

Gleichzeitig wurde der inhaltliche und methodische Realitätsbezug der Experimente durch die Verwendung von Originalgegenständen und Dokumentations- und Messinstrumenten untermauert. Ein schriftliches Festhalten von Teilergebnissen sollte auf jeden Fall erfolgen, da durch die Auseinandersetzung mit dem Gegenstand in niedergeschriebener Form ein vollkommeneres Durchdringen und ein guter Überblick über die gesamte Thematik sichergestellt wird (vgl. Schülerantworten in den Begleitmaterialien und dem Fachwissenstest).

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der zum Kompetenzerleben beiträgt ist neben der sicheren Handhabung der Gerätschaften auch das bewusste Erreichen der anvisierten Ziele durch Absolvierung des naturwissenschaftlichen Algorithmus. Durch das vollständige Erfüllen der an die Schüler gestellten Aufgaben wird gleichzeitig der Anreiz unter den Studienteilnehmern gestärkt, derartige Experimente ohne externe Belohnung auch in der Freizeit durchzuführen, d.h. die Probanden müssen erkennen: Experimente sind eine Chance zur Lösung eines Problems und keine arbeitsintensive Belastung.

Gemäß dem Konzept der Naturwissenschaftlichen Kompetenz fördert die in der Studie ansprechend präsentierte experimentelle Lehr-Lern-Einheit die Metakognition, da bei der Auseinandersetzung nicht nur die richtigen Vorstellungen und Vorgehensweisen direkt erkannt werden, sondern auch ein Bewusstsein für das Erkennen falscher Ansichten bzw. der Begegnung mit Problemen im experimentellen Arbeiten geschaffen wird.

Aus lernpsychologischer Sicht erkannten die Studienteilnehmer, dass Anstrengungsbereitschaft und Durchhaltevermögen zum Ziel führen. Letztere können insbesondere gelingen, insofern die soziale Eingebundenheit aller Beteiligten stark wahrgenommen wird: So zeigte die Studie, dass eine weitestgehend eigenständige Wahl der Experimentierpartner eine gegenseitige Unterstützung forciert, Konkurrenzdenken unterbindet und somit die Effektivität des experimentellen Handelns fördert. Darüber hinaus induziert die gegenseitige Unterstützung innerhalb der Peer-Group kein Gefühl des Leistungsdrucks.

Schließlich zeigten die Kontrollelemente der Studie, dass die jeweilige fachwissenschaftliche und fachmethodische Zielsetzung der Experimente erreicht wurde und somit die eigene, aber auch im Team erarbeitete Leistung von enormer Wichtigkeit ist.

Eine elegante Variante, die Effektivität der Intervention auf lernpsychologische Wirkungen zu untersuchen, stellt die motivationale Begleitforschung dar. Die der Studie zugrunde liegende motivationale Begleitforschung ist an das kognitiv-motivationale Prozessmodell des Lernens nach RHEINBERG & VOLLMEYER (1999 & 2006) nach den Variablen ‚aktive Lernzeit‘, ‚Art und Qualität der ausgeführten Lernaktivität‘ und ‚Funktionszustand der Person während des Lernens‘ angelehnt und mündet in die

### **Forschungsfrage 2 zur motivationalen Begleitforschung:**

*Welche Gestaltungsmerkmale sollte die Lernumgebung unter Berücksichtigung des kognitiv-motivationalen Prozessmodells aufweisen, um bestmögliche motivationale Wirkungen zu entfalten?*

Um den Faktor der Dauer der **aktiven Lernzeit** möglichst förderlich zu gestalten, erbrachte die Studie nachfolgende Erkenntnisse:

- Die gesamte Experimentierzeit und somit auch die Bearbeitungsdauer der einzelnen Experimentieranweisungen dürfen weder zu großzügig noch zu knapp bemessen sein. Das in der Studie gewählte Zeitfenster von einer Schuldoppelstunde erwies sich als günstig, da weder eine Unterforderung der Schüler und somit ein Entstehen von Langeweile durch Leerlaufphasen noch eine Überforderung der Schüler durch Leistungs- und Zeitdruck aufkamen. Demzufolge sind Zeitvorgaben von 45 bis 90 Minuten eine optimale Vorgabe, um alle an den Schüler gestellte Aufgaben auch in dieser Zeit konzentriert bewältigen zu können.
- Obwohl die Studie weder einen Leerlauf noch gesonderte Pausen während der Auseinandersetzung mit dem experimentgestützten Lernangebot vorsieht, bleibt ausreichend Zeit, sich den Experimenten im Sinne der Hypothesenformulierung, Planung und Durchführung sowie der Formulierung der Schlussfolgerung zu widmen. Aufgrund der wohlüberlegten Taktung des zeitlichen Ablaufes der Lehr-Lern-Umgebung sind ausreichend Möglichkeiten gewährleistet, alternative Antworten zu nennen, diese zu diskutieren oder gar in die schriftliche Bearbeitung der Aufgabenstellungen einzubringen. Insbesondere dieser Aspekt, den (zeitlichen) Freiraum zu nutzen, subjektive Erfahrungen, Einstellungen und Wissen einbringen zu dürfen, fördert die Motivation laut Auskunft der Probandinnen und Probanden nachhaltig.
- Die Änderung des Strategieeinsatzes hinsichtlich der von den Schülern selbstgewählten Sozial- und Aktionsformen zeigte sich in der Studie als weiterer Faktor, um die aktive Lernzeit bestmöglich zu gestalten. In den fünf Einzelexperimenten sind die Aufgabenstellungen derart formuliert, dass die Lösungen in unterschiedlichen Sozialformen (d.h. Einzel-, Partner-,

arbeitsgleicher bzw. arbeitsteiliger Gruppenarbeit) und Aktionsformen erarbeitet werden können.

- Erneut zeigt sich die recht eigenständige Dynamik der Gruppenbildung bzw. Partnerwahl während der Ableistung der experimentgestützten Lehr-Lernumgebung als zielführend. So schaffen sich die Schüler untereinander Freiräume und haben die Möglichkeit, andere zu beobachten und deren Vorgehen zu überdenken (=Lernen am Modell) und sich gemäß den eigenen Fähigkeiten und Fertigkeiten einzubringen, aber auch zurückziehen zu dürfen.
- Eine Änderung der Teamzusammensetzung innerhalb einer Experimentiergruppe induziert in der Studie ein gegenseitiges Unterstützen und Ausbalancieren von Chancen, indem gemeinsam an der Lösung getüftelt wird, ohne dass Über- oder Unterforderungstendenzen entstehen. Durch die Variation der Sozialform entstehen veränderte Teams, so dass die Schüler in einer anderen sozialen Einbettung zusammen zeitintensiver und zeiteffektiver arbeiten und ihre Teamfähigkeit unter Beweis stellen müssen. Alle Studienteilnehmer vermittelten den Gymnasiallehrern den Eindruck, dass das Experiment im Fokus steht und somit die Kommunikation mit dem Partner ausschließlich dem fachinhaltlichen und fachmethodischen Inhalt und der Vorgehensweise zur Lösung des Problems dient.
- Die Variation der Aktionsform stellt eine weitere Abwechslung für die Schüler dar. In der Studie wurden die ersten drei Experimente als Schülerexperiment und die letzten beiden Experimente weitestgehend als Demonstrationsexperiment entwickelt. Von Seiten der Schüler wurde die unterschiedliche Beanspruchung im Zusammenhang mit unterschiedlichen Arbeitsaufträgen als willkommene Abwechslung aufgefasst. Mit dem Wechsel von aktiver und passiver Aktivität ging eine längere zeitliche Konzentration und höhere Aufmerksamkeit einher.
- Ferner fließen in die optimale Strukturierung und Nutzung der aktiven Lernzeit bewusst gewählte aktivierende Beschäftigungsfelder: Dazu gehören das Zeichnen eines Versuchsaufbaus, das Dokumentieren der Ergebnisse sowie die Involvierung der Schüler in Aufbau, Messung und Auswertung. Die anschließende Diskussion der Beobachtungen und Ergebnisse, die Antwortform ‚multiple choice‘, aber auch die Variation des Anwendungskontextes oder das Ergänzen von Kennlinien tragen zu einem gelungenen Experimentierablauf der Studie bei.
- Eine weitere zeitliche Effektivität wird durch die klare Strukturiertheit der Konzeption und den Aufgabenstellungen gewährleistet, da stets zentrale Inhalte, Ziele sowie Fachbegriffe deutlich aus den Arbeitsaufträgen hervorgehen.
- Innerhalb des Klassenzimmers sind die Experimentierstationen klar strukturiert vorbereitet, so dass sowohl ein störungsfreies Ableisten als auch ein zügiger Übergang zwischen den einzelnen Experimenten gesichert sind.
- Die Durchführung der Intervention soll während des Geographieunterrichts erfolgen, damit es weder für die Schüler noch für weitere Kollegen zu Stundenausfall kommt oder gar Motivationsverluste durch extra stattfindende Nachmittagsstunden auftreten.
- Der Zeitrahmen und dadurch die aktive Lernzeit werden optimal eingehalten, da organisatorische Unterbrechungen in Form von Durchsagen, Pausen oder dem Wechsel des

Klassenzimmers von vornherein ausgeklammert werden und sich auch pädagogische Störungen aufgrund der eigenständigen Zusammensetzung der Lerngruppe durch die Schüler nicht ereignet haben.

- Um die zeitliche Vorgabe optimal für aktivere Schüler verwenden zu können, sollte die Möglichkeit zur Bearbeitung von zusätzlichen Aufgaben oder das Aufgreifen weiterer Fragestellungen als Beitrag von Differenzierungsangeboten gegeben sein.

Ein zusätzlicher Gesichtspunkt des kognitiv-motivationalen Prozessmodells, der sich auf die Motivation und somit die Lernleistung auswirkt, ist die **Art und Qualität der ausgeführten Lernaktivität**. Aus der vorliegenden Studie können folgende Gestaltungsmerkmale herausgearbeitet werden:

- Die Rolle der Lehrkraft als Wissensvermittler tritt in den Hintergrund, so dass die aufgaben- und materialgelenkte experimentelle Lehr-Lern-Umgebung des Studienformats den Orientierungsrahmen für die Konzeption, den Fachwissens- und methodischen Arbeitstechnikkompetenzerwerb stellt.
- Hinsichtlich der Gestaltung der Arbeitsplätze erwies sich in der Studie eine klare Strukturierung, aus der ein Überblick über die gesamte Sequenz hervorgeht, als zielführend: eine augenfällige Abgrenzung der angeordneten Einzelexperimente nach zentralen Zielen und Inhalten sowie die Aneignung von Fachsprache fördernden Materialien.
- Die Anordnung der einzelnen Experimentieraufträge zu den einzelnen Experimenten erfolgt in sich stringent logisch und sollte auch in dieser Reihenfolge abgeleistet werden, da die Schwierigkeit der Inhalte und Aufgaben mit jedem Experiment wächst. In den zu Beginn der Lehr-Lern-Umgebung gebotenen Experimenten werden zunächst spezifische Herangehensweisen trainiert sowie in einen Kontext mit hoher Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung gestellt, der von Experiment zu Experiment erweitert wird. Folglich werden zu jedem Thema mehrere Aufgaben gestellt und in unterschiedlichen, sich ergänzenden Zusammenhängen und experimentellen Momenten (Phase der Hypothesenformulierung, Planung und Durchführung des Experiments, Schlussfolgerung) angewandt, die die Bedeutsamkeit und den Bezug zur Lebenswelt gut veranschaulichen.
- Dabei kann für den Erwerb der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnik die Lernaktivität in Einzel-, Partner und Gruppenarbeit ausgeführt werden: so wird immanent ein aktives Handeln während der Phasen der Hypothesenformulierung, Planung und Durchführung des Experiments sowie in der abschließenden Schlussfolgerung gefordert.
- Bedingt durch die starke Einbindung der Gymnasiasten in die Lernaktivität, werden die eigenen Kompetenzen laut den Ergebnissen aus der motivationalen Begleitforschung verstärkt wahrgenommen: Eine Behandlung der Schüler als Experten im Rahmen einer Studie, schult die Selbstwahrnehmung im sozialen Miteinander. Durch das selbstbestimmte Arbeiten und die Zusammenarbeit im Team kann jeder einen Beitrag zur Lösung des Problems leisten (Welche Qualität besitzen meine Beiträge und Ideen? Wie oft konnte ich während des situativen Lernens wertvolle Gedanken und Handlungen beisteuern?), in der Diskussion mit den Partnern sich auf einen Lösungsweg einigen, am Modell des Mitschülers

lernen (Nachahmen, Inspiration durch die Peer-Group), aber auch Ergebnisse fixieren, diese erörtern und präsentieren.

- Insbesondere die Diskussion und Vorstellung der Ergebnisse ermöglicht als Erweiterung der Lernaktivität das bewusste Einbringen eigener Erfahrungen und Wissen. Sobald sich die Rückmeldungen aus den Experimentergebnissen mit den in der Hypothese angenommenen Annahmen decken, zeigte sich in der Studienbeobachtung unter den Lernenden der Eindruck eines stark wahrgenommenen Kompetenzerlebens.

Ein abschließender Faktor ist der ***Funktionszustand der Person während des Lernens***, der über die motivierende Qualität einer Lehr-Lern-Umgebung Auskunft gibt und von folgenden Merkmalen beeinflusst wird:

- Als entscheidende Kriterien für ein Gelingen erbrachte die Studie die bedachte Wahl der Sozialform (Einzel-, Partner-oder Gruppenarbeit) wie auch der respektvolle Umgang zwischen Schülern, Lehrkraft und Wissenschaftler: Eine selbstbestimmte Wahl der Partner nach subjektiven Kriterien lässt innerhalb des situierten Lernens einen geduldigen Umgang untereinander erkennen, der von gegenseitiger Unterstützung, wohlwollendem Eingreifen und einer Offenheit, sich der Situation zu widmen, gekennzeichnet ist.
- Eine auf gegenseitigem Vertrauen basierende aktive Auseinandersetzung mit den Experimenten liefert dem Schüler die Möglichkeit, subjektive Erfahrungen und Einstellungen zu gewinnen, Wissen in der Teamarbeit einzubringen und seine Rolle als Experte wahrzunehmen.
- Dabei resultierten fruchtbare Lernprozesse gerade auch aus Lernsituationen, in denen beim Experimentieren nicht auf Anhieb die angestrebten Erkenntnisse erzielt werden konnten. Vielmehr führte dies oft zur ausgeprägten kognitiven Aktivierung und zielführenden Kommunikation innerhalb der Gruppen bei der Suche nach neuen Lösungsansätzen.
- In der vorliegenden Studie wurde die situierte Lehr-Lern-Umgebung pro Interventionszyklus von drei Gruppen à sechs Personen bearbeitet. Dabei überließ die Studienleiterin den Interventionsteilnehmern eine freie Wahl der Gruppenmitglieder, mit welchen gemeinsam die Ableistung der Intervention bewältigt werden musste. Ergebnisse der motivationalen Begleitforschung zeigen, dass die Versagensangst vor anderen Mitschülern oder gar die Furcht, sich blamieren zu können, gering ausgeprägt war und die gegenseitige Unterstützung dazu führte, dass kein Interventionsteilnehmer sich gezwungen sah, aus motivationalen (kein Interesse, Misserfolgsbefürchtung) oder kognitiven Gründen (Überforderung) die Bearbeitung der Experimente abubrechen.
- Erstaunlich ist, dass das Leistungsniveau (z.B. erzielte Punkte im Pre-Test) der einzelnen Schüler bei der selbsttätigen Aneignung des Wissens und der Anwendung der Lösungsstrategien keinerlei Einfluss auf das Miteinander während der Konzeption hatte. Im Gesprächsaustausch mit den Kollegen stand zuvor die Vermutung im Raum, dass ein Schüler, welcher im Pre-Test bereits eine hohe Punktezahlerzielte, eher leistungsschwächere Schüler dominiert und ihnen wenige Chancen auf Selbsttätigkeit zugesteht. Dies zeigte sich

zu keinem Zeitpunkt, da die experimentelle Situation unterschiedliche Perspektiven und Kontexte bot, so dass jeder an der Intervention beteiligte Schüler einen Beitrag zur Bewältigung der Lehr-Lern-Umgebung beisteuern konnte.

### 2.3 Implikationen für die Forschungspraxis

In diesem Abschnitt steht das der Studie zugrundeliegende Forschungsdesign im Fokus. DBR ist in der deutschsprachigen geographiedidaktischen Community ein bislang noch relativ neuer Ansatz, zudem es bisher keine Konkretisierung in experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebungen gibt.

Folglich lautet die **Forschungsfrage 3 zum Forschungsdesign Design-based Research:**

*Welche Merkmale sollte die Umsetzung des Design-based Research-Ansatzes auf Personen-, Produkt- und Prozessebene aufweisen, um die anvisierten kognitiven, instrumentellen und lernpsychologischen Zielsetzungen in experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebungen bestmöglich zu realisieren?*

Die Beantwortung der Forschungsfrage erfolgt nach zwei Gliederungspunkten: So werden zunächst die in der Studie ermittelten erfolgsversprechenden Merkmale aufgezeigt, die sich auf die Charakteristika und das Verhalten der involvierten Personen beziehen, ehe der Redesignkriterienkatalog hinsichtlich kognitiver, instrumenteller und lernpsychologischer Zielsetzungen experimentellen Arbeitens im Geographieunterricht erläutert wird.

#### **Als erfolgsversprechend identifizierte Merkmale auf Personenebene:**

- Ein Kennzeichen von DBR-Studien ist die enge, symbiotische Zusammenarbeit von Unterrichtspraktiker und Forscher. Aus diesem Grunde soll zwischen diesen beiden Akteursgruppen eine vertrauensvolle Atmosphäre bestehen, die von gegenseitiger Wertschätzung und Zusammenarbeit in allen Phasen geprägt ist.
- Von Anfang an sollte den Gymnasiallehrern bekannt sein, welche Ziele im Forschungsvorhaben anvisiert werden und welche Beteiligungsmomente im Rahmen des DBR-Verfahrens bestehen. Dabei wird dem Lehrenden ein großes Maß an (Mit-) Verantwortung und zeitintensiven Arbeitsaufträgen übertragen.
- Überdies wäre es von Vorteil, wenn die an der Studie beteiligten Gymnasiallehrer über hinreichend Expertise in Evaluationsprozessen (z.B. durch Betreuung von Praktikanten, Referendaren, kollegiale Hospitation, Schulentwicklungsmodellen) verfügen und Kenntnisse über Erhebungsverfahren besitzen.
- Die Bandbreite an Gymnasiallehrern, die in der Studie involviert waren, erwies sich als Bereicherung in allen Phasen der Studie: Da die Geographielehrer mit unterschiedlich langer Diensterfahrung aufwarten (zwischen zwei und nahezu 40 aktiven Dienstjahren), haben diese einen gänzlich unterschiedlichen Hintergrund in ihrer didaktischen und methodischen Ausbildung. Auch sieht ein Lehrer, dessen Zweitfach aus den Naturwissenschaften (z.B. Physik, Chemie, Mathematik) oder aus den Geisteswissenschaften (z.B. Deutsch, Englisch, Wirtschafts- und Rechtslehre) stammt, andere Nuancen der Arbeit. Geographielehrer, die

ihren Arbeitsschwerpunkt in naturwissenschaftlichen Fragstellungen sehen, haben deutlich weniger Bedenken, sich den durchaus anspruchsvollen Experimenten zu widmen, wie es die Begegnungen zeigten. Geisteswissenschaftlich interessierte Geographielehrer äußerten ihre Überraschung darüber, dass ihnen die Möglichkeit des Experiments zur Lösung des fachwissenschaftlichen Problems überhaupt nicht bewusst war und erst durch die Intervention derartige fachmethodische Zugänge in der Unterrichtspraxis umsetzbar erschienen.

- Für das Gelingen spielen Aspekte des Class-Room-Managements eine entscheidende Rolle: Eine reichhaltige Expertise in der pädagogischen Führung einer Klasse (z.B. mehrjährige Unterrichtstätigkeit, schüleradressierte Dialogorientierung, Lehrer als Vorbild) unterbindet auftretende disziplinäre Schwierigkeiten.
- In erster Linie ist es von Bedeutung, dass die Gymnasiasten das anvisierte Vorhaben in allen Phasen unterstützen. Wichtig hierbei ist das Wahrnehmen der Kompetenzen der einzelnen Schüler, d.h. die bisher erzielten Leistungen sind von untergeordneter Rolle, dafür die Qualität und Quantität des Mitwirkens und Mitgestaltens des Forschungsprozesses.
- Es soll den Probanden stets vermittelt werden, dass die Studie für die Wissenschaft und Praxis von enormer Relevanz ist und man insbesondere den Akteuren die Chance gibt, diese nachhaltig zu gestalten. Neben den wahrgenommenen Schülereinflüssen ist der Kontakt zwischen der Lehrkraft, dem Forscher und den Schülern prägend: Je wertschätzender der gegenseitige Umgang unter allen Beteiligten ist, desto eher ist ein Wille zur Mitarbeit gegeben. Aktive Schüler, die eine Studie vorbehaltlos stützen, haben keine Scheu, sich in allen Phasen arbeitswillig zu zeigen und am Expertenrating mitzuwirken.
- Eine derartige vertrauensvolle Zusammenarbeit kann nur gelingen, wenn sich alle an der DBR-Studie beteiligten Akteure (Schülerinnen und Schüler, Lehrer und Lehrerinnen sowie Studienleitung) über einen längeren Zeitraum kennen, bereits mehrfach zusammengearbeitet haben und zum Zwecke anderer (Forschungs-) Aktivitäten eine Evaluationskultur zielführend und im offenen Dialog trainiert haben.
- Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn die Schüler über eine gewisse Expertise im Umgang mit Experimenten besitzen. Ein derartig kumulativer Kompetenzaufbau kann z.B. durch das rege Ableisten von Experimentbeispielen in den Schülerübungen der Physik und der Chemie gelingen.
- Da den Gymnasiasten eine wichtige Funktion und möglichst eigenverantwortliche Arbeitsweise zugestanden wird, sollte man ihnen auch möglichst wenige Kriterien vorgeben. Auf Grundlage der Beobachtungen aus den Interventionen 1 bis 3 zeigt sich, dass z.B. eine selbstständige, nach eigenem Willen erfolgte Gruppenbildung für das soziale Miteinander sehr förderlich ist.
- Es erweist sich als hilfreich, Schulen als Kooperationspartner für DBR-Studien auszuwählen, in denen die Evaluationskultur auf unterschiedlichsten Maßstabsebenen intensiv gepflegt wird. So konnten sich Lehrer durch die kollegiale Hospitation in Tandems Expertenwissen aneignen, in dem sie den Unterricht anderer Kollegen in den unterschiedlichsten Fächern unter ausgewählten Aspekten beobachteten und mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens gezielt evaluierten. Hilfreich stellt sich dabei die beabsichtigte Hospitation z.B. einer einzigen

Klasse heraus, um deren unterschiedlichste Reaktionen bei wechselnden Kollegen und fachmethodischen Konzepten zu deuten.

- Sollte die Zielgruppe der Lernenden eine Seminarschule besuchen, so gehört die Beurteilung der Lehrkraft durch Evaluationsschemata gegen Ende eines Ausbildungsabschnitts als auch die gemeinsame Ableistung von Prüfungslehrproben zum Tagesgeschäft. Im Zuge der Seminausbildung sind die Schüler angehalten, gezielte Rückmeldungen (zu gehaltenen Unterrichtsstunden, zu Leistungserhebungen, zur medialen und methodischen Gestaltung, zur Implementierung neuer Lehr-Lern-Formen u.a.) und konstruktive Anmerkungen (z.B. Beachtung von Unterrichtsprinzipien) an den Referendar zu kommunizieren. Aus diesem Grunde scheinen aus Sicht der Studienleiterin Seminarschulen für DBR-Projekte bestens geeignet, da sich die Schülerschaft auf neue Situationen eher vorbehaltlos einlässt und neuartige Unterrichtskulturen auch von Seiten der Elternschaft unterstützt werden.
- Da eine Zusammenarbeit sehr zeit- und arbeitsintensiv ist, sollte die Teilnahme an einer DBR-Studie als Fortbildung anerkannt werden (insbesondere Vorabschulungen, Nachbesprechungen). Um nachhaltig Lehrer für ein derartiges Forschungsvorhaben zu gewinnen, muss die Thematik auf eine konkrete, aus der Theorie und Praxis bezogene Situation eingegrenzt werden, um die Dauer des Forschungsvorhabens zeitlich abschätzen zu können und die Relevanz des Forschungsvorhabens zu untermauern.
- Daraus erwächst der Vorschlag, DBR-Studien besonders an an Theorie- und Unterrichtspraxis interessierte Lehrer (z.B. das ISB als Schnittstelle zwischen Universität und Schullandschaft) zu vergeben. Der Anspruch von DBR-Studien, Outputs und Outcomes in Form von empirisch erprobten Lehr-Lern-Settings, Begleitmaterialien bis hin zur Lehrplanarbeit beizusteuern, kann unter Mitwirkung einer übergeordneten Dienststelle am ehesten realisiert werden.

Die auf experimentgestützte Lehr-Lern-Umgebungen zugeschnittene Beantwortung der Forschungsfrage verfolgt die Aufarbeitung von Personen-, Produkt- und Prozessmerkmalen, um die anvisierten kognitiven, instrumentellen und lernpsychologischen Zielsetzungen bestmöglich zu realisieren. Die Studie erbrachte binnen drei Interventionszyklen fortwährend weitere Merkmale und Umsetzungsvorschläge, die das experimentelle Arbeiten im Geographieunterricht zielführend begleiten. In der Studie wurde die iterative Vorgehensweise von Entwurfs-, Umsetzungs-, Analyse-, Re-Design- und Interpretationsphase im Sinne des Design-based Research Ansatzes eingehalten. Eine akribische Sichtung von publizierten DBR-Forschungsvorhaben brachte keine Erkenntnis, welche Kriterien eine optimierte Interventionsversion vorweisen soll bzw. wie derartige Re-Designkriterien aus dem Forschungsprozess hinsichtlich fachinhaltlicher, fachmethodischer und lernpsychologischer Forschungsziele generiert, gedeutet und genutzt werden können.

In Form eines entworfenen Re-Designkriterienkatalogs zum experimentellen Arbeiten im Geographieunterricht umfasst dieser

### **Als erfolgversprechend identifizierte Merkmale und Vorgehensweisen auf Personen-, Produkt- und Prozessebene im DBR-Zyklus**

Anhand ausgewählter Fragen (siehe Re-Designkriterienkatalog S. 118-128) hinsichtlich

- kognitiver Überlegungen (Fachwissen)
- methodisch-experimenteller Überlegungen (Fachmethodik)
- der Antwortqualität der bearbeiteten Begleitmaterialien (Unterrichtspraxis)
- lernpsychologischer Überlegungen (Fachwissen, Fachmethodik, Unterrichtspraxis)

werden sämtliche Ergebnisse genauestens strukturiert, analysiert und interpretiert.

Um die Aussagekraft der quantitativ erhobenen Daten zu ergänzen, werden alle an der Intervention aktiv und passiv beteiligten Akteure um die Wiedergabe der gewonnenen Eindrücke gebeten.

Letztere werden in der Studie für die Ableitung von design solutions im weiteren Forschungsprozess als zielführende Merkmale und Vorgehensweisen experimentellen Arbeitens in der Geographiedidaktik berücksichtigt.

Als design solutions wurden mit Blick auf die Modifizierung der Experimente und Begleitmaterialien richtungweisende Gestaltungsmerkmale umgesetzt:

- inhaltlich-methodische Reduktionen
- inhaltlich-methodische bzw. inhaltlich-experimentelle Ergänzungen bzw. Verfeinerungen
- Wahl übersichtlicherer Darstellungsvarianten
- Stärkung schüleraktivierender Aufgabenkulturen
- Optimierung des Zeitmanagements
- die Benennung, erstmalige Konkretisierung und unterrichtspraktische Umsetzung motivationaler und kognitiver Mediatoren

Gleichzeitig sei an dieser Stelle auf die in Forschungsfrage 1 und 2 ausführlich beschriebenen Merkmale eines Experiments verwiesen, die insbesondere die fachwissenschaftlichen, fachmethodischen und lernpsychologischen Überlegungen noch stärker verdeutlichen.

### **Zusammenfassende Implikationen für die didaktische Theoriebildung und Forschungspraxis**

Generell symbolisiert der in der Studie entwickelte und mehrfach empirisch überprüfte Re-Designkriterienkatalog eine Pionierarbeit nach dreierlei Gesichtspunkten:

1. Während der DBR-Zyklus eine eindeutige Phasenbenennung und klassische Vorgehensweise (Entwurfs-, Umsetzungs-, Analyse-, Re-Design- und Interpretationsphase) vorgibt, existieren bisher keinerlei empirisch eruierten und mehrfach erprobten Vorschläge zu Inhalt, Struktur und Handlungsempfehlungen im Sinne eines Re-Designkriterienkatalogs. Somit lieferte die vorliegende

---

Studie hinsichtlich des DBR-Forschungsansatzes erstmals einen Beitrag zur Identifizierung von zentralen Merkmalen, die bei der Überarbeitung einer Konzeption berücksichtigt werden sollten.

2. Zwar lassen die Arbeitstitel bisher abgeschlossener Forschungsarbeiten in der Geographiedidaktik eine Auseinandersetzung mit Experimenten und experimentgestützten Arbeitsformen nach unterschiedlichen Fragestellungen erkennen. Die dort erzielten gewinnbringenden Erkenntnisse werden jedoch häufig nicht unmittelbar in unterrichtspraktische Konzeptionen übersetzt. Genau hier setzt die vorliegende DBR-Studie an, die, wie bereits gezeigt, auf der Produktebene zu unterrichtspraktischen und unmittelbar einsetzbaren Resultaten (d.h. eine empirisch überprüfte Lehr-Lern-Umgebung sowie die Identifikation zentraler Aspekte eines wirkungsvollen kompetenzorientierten Experimentierens hinsichtlich fachinhaltlicher, fachmethodischer und lernpsychologischer Wirkungen) gelangt ist.

3. Zahlreiche Publikationen zum kognitiv-motivationalen Prozessmodell nach RHEINBERG & VOLLMEYER (1999 & 2006) betonen die kognitiven und motivationalen Mediatoren als entscheidende Momente handlungszentrierter Aktivitäten, die den Lernprozess und die Leistung stark beeinflussen.

Welche Variablen sich nun tatsächlich hinter den kognitiven und motivationalen Mediatoren verstecken, wird dabei häufig nicht näher beleuchtet. Am Beispiel experimentellen Arbeitens im Geographieunterricht unter besonderer Berücksichtigung von kognitiven, instrumentellen und lernpsychologischen Perspektiven wurde in der vorliegenden Studie eine Konkretisierung motivationaler und kognitiver Mediatoren geleistet. Diese sind der Beantwortung der Forschungsfragen<sup>1</sup> und insbesondere 2 zu entnehmen.

## D. Schlussbetrachtung

Zu den Kernanliegen der Studie gehörten die Korrektur von in der Praxis auftretenden Fehlvorstellungen von Schülern wie auch die Optimierung bestehender Konzepte. Ferner war das Ziel, das beschriebene Fehlen eines Lösungsansatzes in der Wissenschaft zu beheben und somit einen empirisch erprobten Ansatz im Sinne einer Didaktischen Strukturierung hervorzubringen.

In der Schlussbetrachtung soll nun den Fragen nachgegangen werden, ob

1. die Studie bezogen auf die ‚Erkenntnisdimension‘ einen Beitrag zu konzeptuellem und inhaltsbezogenem Wissen sowie zur Förderung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns leisten konnte;
2. in Bezug auf die Dimension ‚Eignung der Konzeption für die Unterrichtspraxis‘ im Rahmen der Studie Handlungsempfehlungen abgeleitet werden konnten und weitere inhaltsbezogene Neuentwicklungen unter Berücksichtigung kognitiver und motivationaler Perspektiven der Lernenden erfolgt sind.

In einer ersten Auseinandersetzung mit der Thematik wurde einer Vielzahl an Schüler- und Wissenschaftlervorstellungen begegnet, anhand derer eine Strukturierung und Systematisierung für den Baustein der Didaktischen Strukturierung vorgenommen wurde.

Einerseits konnten aus der Gegenüberstellung Konzepte und Denkmuster entnommen werden, andererseits leitete diese Rekonstruktionsarbeit die ersten Impulse und Ideen für eine unterrichtspraktische Umsetzung ein.

Folglich wurde auf Grundlage der identifizierten Vorstellungen und empirisch begründeten Überlegungen als auch der Einschätzungen von Experten eine experimentgestützte situative Lehr-Lern-Umgebung mit Begleitmaterialien entwickelt, anhand derer gezeigt werden sollte, wie bestehende Denkstrukturen optimiert werden können.

Um die Effektivität dort integrierten Experimentierreihe im Hinblick auf deren kognitives und methodisches Potential zu eruieren, wurde parallel ein – ebenso auf den Untersuchungsergebnissen zu den Schülerkonzepten gestütztes – Erhebungsinstrument zur Erfassung von Fachwissen und der naturwissenschaftlichen Arbeitstechnikkompetenz entwickelt.

Nach erfolgter Pilotierung und Validierung wurde dieses Messinstrument von den Partizipatoren der Studie jeweils vor und nach Ableistung der Experimentierlandschaft bearbeitet.

Aus den Ergebnissen der ersten Umsetzungsphase konnte eine deutliche Wirksamkeit hinsichtlich des Fachwissenszuwachses und der Schulung naturwissenschaftlicher Arbeitstechniken festgehalten werden, womit die theoriebasierte Entwicklung von Bildungsmaterialien (experimentelle Lehr-Lern-Landschaft einschließlich Arbeitsunterlagen) als unterrichtspraktische Konkretisierung erstmals erfolgreich umgesetzt werden konnte. Gleichsam deuteten die Ergebnisse der motivationalen Begleitforschung auf die lernpsychologische Wirksamkeit der Intervention hin.

Dennoch waren den aus dem quantitativ-qualitativ Methodenmix entstammenden Ergebnissen der ersten Umsetzungsphase erste Anregungen zu entnehmen, um die Lernumgebung anschließend weiter zu entwickeln und um auch inhaltliche und/oder methodische Verfeinerungen, Reduzierungen

oder Ergänzungen vorzunehmen als auch motivationale Begleiterscheinungen noch weiter zu optimieren.

Die re-designte Fassung der Intervention (d.h. die aus dem Forschungsprozess hervorgegangene Überarbeitung der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung einschließlich Begleitmaterialien) wurde von weiteren Studienpartizipatoren, die den ersten Interventionsteilnehmern hinsichtlich der personenbezogenen Merkmale sehr ähnlich sind, unterrichtpraktisch erprobt.

Aus den quantitativen und qualitativen Forschungsergebnissen konnte entnommen werden, dass sich die Leistungen und Kompetenzen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns der Studienteilnehmer verbessert haben und sich die Kriterien des Re-Designs der ersten Umsetzungsphase als zielführende Leitlinien für die Konstruktion und Planung von weiteren unterrichtspraktischen Umsetzungen herausstellten.

Eine zusätzliche Bestätigung der optimierten Version lassen die Schülerantworten zur lernpsychologischen Empfindung erkennen: Mit Ausnahme von wenigen Items zeigen die Angaben des FAM, der FKS und des Fragebogens zur Erfassung des motivationalen Zustands sowie den Dialogen mit den Interventionsteilnehmern die motivierende und interessenfördernde Wirkungsfähigkeit des modifizierten Interventionsdesigns.

Die zweimalig optimierte Konzeption wurde in einer dritten Umsetzungsphase von einer deutlich leistungsschwächeren Interventionsgruppe abgeleistet. Anhand der Ergebnisse lässt sich am stärksten eine Wirksamkeit der experimentgestützten Lehr-Lern-Landschaft auf Fachwissenszuwachs und Schulung naturwissenschaftlicher Arbeitstechniken feststellen, wenngleich auch die lernpsychologische Effektivität aufgrund des gesteigerten fachlichen und methodischen Niveaus eine geringe Abschwächung erfährt.

Während der zweifachen Überarbeitung der Gesamtkonzeption konnten anderweitige inhaltliche und methodische Umsetzungsvarianten integriert werden, die einen stärkeren Lebens- und Realitätsbezug vermitteln, aber auch den naturwissenschaftlichen Dreiklang stärker in den Vordergrund rücken.

Gestützt auf die Implikationen für die Theorie und Praxis konnten umfassende evaluierte Leitlinien und Gestaltungsprinzipien für

- die Ausgestaltung einer experimentellen Lehr-Lern-Umgebung und deren Begleitmaterialien im Sinne der Didaktischen Strukturierung und des Kompetenzentwicklungsmodells des Experimentierens nach HAMMANN (2004),
- die Auswahl von an einem Design-based Forschungsprojekt involvierten Akteuren,
- die Ausgestaltung von experimentgestützten Lehr-Lern-Prozessen,
- die motivationale Begleitforschung auf Grundlage des kognitiv-motivationale Prozessmodells des Lernens nach RHEINBERG und VOLLMEYER (1998)

aus dem Forschungsprozess generiert werden, die für weitere Forschungsvorhaben eine Strukturierungshilfe bzw. Modellvorlage liefern.

Auch wenn die obigen Ergebnisse und Erkenntnisse die Studienleiterin optimistisch stimmen, sollten in der Schlussbetrachtung Limitationen der Studie aufgearbeitet werden.

Aus Sicht der Autorin besteht zu nachfolgenden Feldern weiterhin ein Forschungsbedarf:

- Fachinhalt:

In der Studie wurden die fachwissenschaftlichen Kenntnisse der Probandinnen und Probanden zum stratosphärischen Ozon und zu Strahlungsarten überprüft und gezielt mit Hilfe einer experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung optimiert. Auf das Themengebiet troposphärisches bzw. bodennahes Ozon wurde aus Gründen des Forschungsanlasses (Problemfelder ‚Vermischung von Treibhauseffekt und Ozonloch‘, ‚unzureichende Kenntnisse der Strahlungsarten‘) sowie des umfangreichen und vielseitigen Studienformats nicht weiter eingegangen. Denkbar wäre nun eine Erweiterung der Studie um eine Experimentierumgebung, die dem Entstehen des bodennahen Ozons, dessen Auswirkungen auf das Mensch-Umwelt-System und den Einflüssen auf den anthropogenen Treibhauseffekt Rechnung trägt. Denn die Probandenantworten auf die Kontrollfragen des NAW (Fragen 7.09; 7.11; 7.16; 7.25) ergaben selbst nach Ableistung der experimentellen Intervention, dass vielen Schülern weder die Entstehungsmechanismen noch das klimaschädliche Potential bodennahen Ozons bekannt sind.

- methodische Großform Experiment:

Die Studie arbeitet mit dem naturwissenschaftlichen Dreiklang ‚Hypothesenformulierung – Planung und Durchführung eines Experiments – Schlussfolgerung‘ nach HAMMANN (2004) und deckt somit nur einen Teil des experimentellen Algorithmus nach OTTO (2009) ab. Aufgrund des spezifischen Fokus‘ auf die Entwicklung und Förderung des Kompetenzerwerbs und die Unterrichtsqualitätsoptimierung, aber auch aus forschungspragmatischen Gründen, erwies sich diese Entscheidung als zielführend.

Gleichzeitig erscheint das empirische Arbeiten unter Einbezug aller Elemente des experimentellen Algorithmus nach OTTO (2009) als sehr reizvoll, so dass weitere empirische Studien die sodann gezielt unter Bezug dieses Modell arbeiten, zu gewinnbringenden Erkenntnissen gelangen können.

Weiter wird explizit auf eine Unterscheidung von Real- und Experimentierraum verzichtet (vgl. Kapitel C.3.2). Nachdem sich die Interventionsteilnehmer mit einem durchschnittlichen Alter von 16 Jahren bereits in der höchsten Entwicklungsstufe nach PIAGET (PIAGET & INHELDER 1972) befinden (Phase der formalen Operationen), kann davon ausgegangen werden, dass diese den Unterschied zwischen dem Real- und Experimentierraum kennen und die unter Laborbedingungen ermittelten Ergebnisse auch mit Naturphänomenen in Verbindung zu bringen wissen. Geographielehrern, die beide Blicke integrieren möchten, wird daher empfohlen, zusätzliche Lernerfolgskontrollen in den experimentellen Ablauf zu integrieren und weitere vergleichende Arbeitsaufträge an die Schüler zu vergeben (z.B. „Im Experimentierraum werden eine UV-Strahlungsquelle, eine mit Ozon angereicherte Glasküvette und ein UV-Strahlungsdetektor verwendet. Übersetze die Experimentieranordnung in die Realität, indem du die Originalgegenstände benennst und deren funktionalen Zusammenhang im Realraum erläuterst. Gehe abschließend auf Stärken und Schwächen beim Modellübertrag ein“).

In einigen Fachartikeln (z.B. PETER 2017) wird auf die Formulierung von Hypothesen *und* Gegenhypothesen verwiesen. Darauf wurde in der vorliegenden Arbeit verzichtet und zwar vor dem Hintergrund einer gezielten didaktischen Reduktion: Wie die Schülervorstellungsforschung zeigt (vgl. Kapitel B.2) ist der hier im Fokus stehende Themenbereich äußerst anspruchsvoll. Ihre Vorstellungen

sind im Kontext Treibhauseffekt/Ozonlochphänomen häufig mit fehlerhaften Begriffen, Strukturen, Denkfiguren und umfassenden subjektiven Theorien durchsetzt. Im Sinne der cognitive-load theory wurde deshalb auf die zusätzliche Arbeit mit Gegenhypothesen verzichtet. Damit soll aber nicht dafür plädiert werden, grundsätzlich auf die Arbeit mit Gegenhypothesen zu verzichten (SWELLER 1994).

- motivationale Begleitforschung:

Sowohl die Verwendung des kognitiv-motivationalen Prozessmodells des Lernens als auch der Einsatz der auf das Forschungsmodell abgestimmten Erhebungsinstrumente erwiesen sich als zweckdienlich und ergänzten den Datenpool der Studie um wichtige und zielführende Erkenntnisse.

Allerdings lassen die Antworten zur Subskala ‚Herausforderung‘ des FAM mit einem Cronbachs  $\alpha$  von 0,517 eine große Streuung erkennen. Es stellt sich die Frage, ob die Interventionsteilnehmeranzahl von  $n=54$  oder auch die Itemanzahl (nur vier Items prüfen die Subskala ‚Herausforderung‘ ab) zu gering ist, um einen deutlich besseren Zusammenhang der Antworten zu gewinnen.

Während die Antworten der latenten Skala ‚Glatter Verlauf‘ der FKS auf Basis von nur sechs Items mit einem Cronbachs  $\alpha$  von 0,851 eine erstaunlich gute Zuordnung der Skalen widerspiegeln, deutet die Auswertung der Items zur ‚Absorbiertheit‘ ein anderes Bild an. Einerseits deutet das Cronbachs  $\alpha$  von 0,468 auf eine schlechte interne Konsistenz hin, andererseits bilden nur vier Items die Subskala ‚Absorbiertheit‘ ab. Freilich könnte man z.B. zwei Items, deren Antworten eine große Streuung erkennen lassen, entfernen. Jedoch sollte man sich bewusst sein, dass bei einer noch geringeren Itemanzahl die Werte des Cronbach  $\alpha$  nicht automatisch besser werden und sich somit die interne Konsistenz nicht zwangsläufig erhöht. Schließlich dienen die Antworten aus der motivationalen Begleitforschung als konstruktives Feedback für eine zielgerichtete Überarbeitung und sollten dementsprechend bei Verfeinerungen miteinfließen.

Überdies wird das mit der FKS erfasste Konstrukt Flow-Erleben mit Tätigkeiten in Spiel und Sport assoziiert, womit im Sinne der ‚Absorbiertheit‘ Selbstvergessenheit, Zeitverlust und Selbstwirksamkeitserfahrung eher einhergehen, als in einem konzentrierten imitatorischen, organisatorischen oder konzeptuellen Experimentiervorgang. Demzufolge könnten sich vergleichbare Studien eher auf die Erfassung des Flow-Erlebens fokussieren, insofern es sich um rein qualitative Experimente oder gar Freihandexperimente von geringerem technischem und inhaltlich weniger anspruchsvollerem Format handelt.

- Erhebungsinstrument zur Erfassung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnikkompetenz:

Mit einem Cronbachs  $\alpha$  von 0,750 über alle Items der Subskalen ‚Hypothesenformulierung‘, ‚Planung und Durchführung eines Experiments‘ sowie ‚Schlussfolgerung‘ handelt es sich um eine gute interne Konsistenz, die das Fachwissen und die naturwissenschaftlichen Fähigkeiten der Studienteilnehmer gut abbildet.

Eine genaue Betrachtung der internen Konsistenzen der einzelnen Subskalen lässt deutlich schlechtere Cronbachs  $\alpha$ -Werte erkennen. In Anlehnung an HENKE (2006, S.50) liegt auch hier in der Studie ein deutlich höherer Wert für das Gesamt-Cronbachs  $\alpha$  im Vergleich zu den Cronbachs  $\alpha$  der Einzelskalen vor. Folglich ist der interne Zusammenhang der Gesamtitems besser abgebildet als der

der einzelnen Subskalen. Weder Henke noch die Autorin der Studie können den hierfür verantwortlichen Einflussfaktor (oder Einflussfaktoren) benennen oder auf Basis der ausgewerteten Daten diesen im Nachhinein identifizieren.

Ein weiteres Erklärungsmuster für die recht schwachen Cronbachs  $\alpha$  könnte in der unterschiedlich stark vorhandenen Anzahl der Subskalen-Items begründet sein: So liegt z.B. das Cronbachs  $\alpha$  einer Subskala mit deutlich höherer Itemanzahl meist über den Werten der anderen Subskalen mit geringer Itemanzahl.

In Bezug auf die Interventionsteilnehmergruppen scheinen zunächst ähnliche Strukturen (Alter, Geschlecht, erzielte Note in den Unterrichtsfächern Physik und Geographie) vorzuliegen. Die Auswertung des Pre-Tests jedoch deutet eine Heterogenität der einzelnen Gruppen an. Erst nachdem alle 54 Interventionsteilnehmer das Phänomen ‚Intervention‘ erfahren haben, zeigen die Ergebnisse im Post-Test eine größere Ähnlichkeit der Gruppen. Fokussiert man den Blick auf den Wert des Gesamt-Cronbachs  $\alpha$ , so liegt dieser mit  $\alpha=0,860$  im Post-Test höher als im Pre-Test mit  $\alpha=0,750$ . Eine ähnliche Aufwertung erfahren die Einzelskalen des Post-Tests.

Die Leistungstestentwicklung erfolgte standardisiert an einer Grundgesamtheit. Es wäre daher von Interesse, wie sich die Ladungen der einzelnen Skalen des Erhebungsinstruments verhalten hätten, wenn ein größerer Stichprobenumfang (der sich nahe an der Grundgesamtheit befunden hätte) erhoben worden wäre.

Setzt man sich mit abgeschlossenen Studien auseinander, so lassen sich fortwährend folgende Auswertungsschritte nachzeichnen: Nach der Erhebung der Daten erfolgt eine Faktorenanalyse, bei der sämtliche Dimensionen in Beziehung gesetzt und exogene Variablen untersucht werden. Anschließend wird versucht, hierarchische Strukturen zu demaskieren, um die Brauchbarkeit des Erhebungsinstruments darzulegen.

Die vorliegende Untersuchung legt großen Wert darauf, das Erhebungsinstrument als diagnostisches Mittel zu verstehen, das Schwächen der Probandinnen und Probanden aufdeckt und eine Optimierung von Fachwissen und naturwissenschaftlicher Arbeitstechnikkompetenz nach Ableistung der Intervention festhält. Schließlich handelt es sich um einen heterogenen Leistungstest mit offenen und geschlossenen Aufgabenformaten, der Inhalts-, Handlungs- und Begründungswissen nach deren korrekter Fachlichkeit abprüft und somit auf die Erfassung von Einstellungen – für die es wahrlich keine fachwissenschaftlichen und fachmethodischen Kompetenzen benötigt – verzichtet.

- Implementierung:

Bereits in der Problemstellung (vgl. Kap. A) wird erwähnt, dass im Sinne der didaktischen Strukturierung eine experimentgestützte, kompetenzorientierte Lehr-Lern-Umgebung mit Begleitmaterialien gestaltet wird, die Eingang in die Unterrichtspraxis finden soll.

Gespräche mit Geographielehrern über jüngst publizierte Forschungsberichte aus der Geographiedidaktik zeigen, dass weder die Studien an sich noch die dabei gewonnenen Erkenntnisse den Unterrichtspraktikern bekannt sind oder gar in die neubearbeiteten Fassungen der Lehrpläne münden.

Aus Sicht der Studienleiterin ist die Implementierung der praktischen und theoretischen Ergebnisse eine naheliegende Herausforderung. Es stellen sich die Fragen,

- wie Unterrichtspraktiker von den Studienergebnissen profitieren können,
- welche Zugänglichkeit sich zu den Experimenten und Materialien ergibt und
- inwieweit ein Fortbildungskonzept angedacht ist, Gymnasiallehrer auf die Möglichkeit des Experiments hinzuweisen.

Daher wäre es sinnvoll, mit diesen experimentelle Fähigkeiten und Fertigkeiten zu trainieren und Lehrkräfte bei der Implementierung in die Unterrichtspraxis zu unterstützen.

Aus den bekannten wissenschaftstheoretischen, unterrichtspraktisch-biographischen Gründen sowie hinsichtlich der Gesellschaftsrelevanz ist es verwunderlich, dass der Themenkomplex stratosphärisches Ozon in seiner lebenswichtigen Bedeutung nicht im bayerischen gymnasialen Lehrplan gelistet ist. Umso erstaunlicher erscheinen Querbezüge zur Ozonlochentstehung bei der Erklärung des Treibhauseffekts in Schulbüchern, die einen Zusammenhang der beiden Ressorts suggerieren.

Dementsprechend wäre es wünschenswert, diesen Sachverhalt korrekt in der Unterrichtspraxis aufzuarbeiten (eine Orientierung würden bspw. die in der Studie erarbeiteten Experimente und Handreichungen liefern) und möglichst in den Geographie-Lehrplänen abzubilden.

Ein Plädoyer für das Experiment rundet die Studie ab, um die Potenziale dieser methodischen Großform abschließend noch einmal deutlich in den Blick zu rücken.

Einige Stellen in der Studie verraten, dass die Autorin ihren beruflichen Schwerpunkt in der Unterrichtspraxis sieht und jede sich ergebende Möglichkeit nutzt, ihre beiden Unterrichtsfächer inhaltlich und methodisch zu verbinden.

Während das klassische Experiment der Dreh- und Angelpunkt (nahezu) jeder Unterrichtsstunde oder Schülerübung in der Physik darstellt, nehmen Versuche im Geographieunterricht erfahrungsgemäß ein Schattendasein (HEMMER & HEMMER 2010) ein bzw. spielen eine untergeordnete Rolle.

Grundsätzlich sind Schüler gegenüber Experimenten offen eingestellt, zeigen sich begeistert wie auch aktiv in experimentellen Aufgaben und können rückblickend nicht selten Wochen oder gar Monate später von Handlungsbeschreibungen und Ergebnissen berichten.

Eine gegenwärtig zu verzeichnende starke Konzentration auf den Einsatz von Apps und weiteren Simulationen im gesamten Fächerkanon lässt die für das Experiment charakteristischen Begleiterscheinungen fast vollständig ins Vergessen geraten: Zentrale Merkmale wie das Austüfteln eines kreativen Lösungsweges, das Suchen und Finden von geeigneten Gerätschaften für den Versuchsaufbau sowie geistreiche Überlegungen in Absprache mit den Mitschülern treten immer weniger in Erscheinung.

Geographielehrern ist es bisweilen nicht bewusst, wie gut das Experiment als *tool* geeignet ist, komplexe Inhalte anschaulich zu vermitteln, einen Gegenstand vielseitig zu durchdringen, mit dem Ziel, Schülervorstellungen zu schulen. Möglicherweise wären in der Zentrierungswissenschaft mehr Lehrer bereit, experimentelle Sequenzen in die Unterrichtspraxis münden zu lassen, wenn in größerem Umfang Vorschläge und Handreichungen (wie in der vorliegenden Studie entwickelt und evaluiert) existieren und somit zugänglich wären.

Experimente sollten „Lust auf mehr“ machen und ein zentraler Baustein im Geographieunterricht sein. Erfahrungsgemäß eignen sich Inhalte aus der Physischen Geographie bestens für experimentelle Umsetzungen (z.B. Experimente zum Klimawandel nach SCHÖPS ET AL. 2015, Experimente zur Bodengeographie nach SCHUBERT 2016).

Eine unterrichtspraktische Umsetzung, die dem Anspruch der naturwissenschaftlichen Grundbildung Rechnung trägt, wäre z.B. ein kompetenzorientiertes Experiment zur Erdbebenforschung (HÖRMANN, 2015). Der Beitrag zeigt eine fächerübergreifende Aufarbeitung, die möglichst viele Kompetenzen und Differenzierungsgrade besitzt, dabei sich lieber mittels Reduktion und Spezialisierung auf das Wesentliche konzentriert als eine Überfrachtung zu riskieren. Parallel zum experimentellen Dreiklang sind die Schüler angehalten, durch geeignete anwendungsorientierte Apps zur Erdbebenforschung und photographische Dokumentation durch das Smartphone das Protokoll bzw. Arbeitsblatt zu ergänzen und die eigenen Erkenntnisse überzeugend darzustellen.

Auf jeden Fall ist das Experiment eine methodische und Image fördernde Aufwertung des Geographieunterrichts, dessen Fachwissen generierendes Potential noch stärker gewürdigt und genutzt werden sollte.

In diesem Sinne zeigte die Studie, welchen Beitrag Experimente leisten können, bestehende fachliche Konzepte zu optimieren bzw. zu erweitern und fachmethodische Denk- und Arbeitstechniken zu trainieren.

## E. Literaturverzeichnis

ABNEY, J. & SCALETTAR, B. (1998): Saving Your Students' Skin. Undergraduate Experiments That Probe UV Protection by Sunscreens and Sunglasses. *Journal of Chemical Education* Volume 75. S.757–760.

ANDERSSON, B. & WALLIN, A. (2000): Students' understanding of the greenhouse effect, the societal consequences of reducing CO<sub>2</sub> emissions and the problem of ozone layer depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), S.1096-1111.

ANDERSON, T. & SHATTUCK, J. (2012): Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? *Educational Researcher*, 41(1), S. 16-25.

ATKINSON, J. W. (1957): Motivational determinants of risk-taking behavior. *Psychological Review*, 64 (6), S. 359-372.

BARDAR, E., PRATHER, E., & BRECHER, K. (2006): Development and Validation of the Light and Spectroscopy Concept Inventory. *Astronomy Education Review*, 5(2).

BAUMERT, J./LEHMANN, R./LEHRKE, M./SCHMITZ, B./CLAUSEN, M./HOSENFELD, I./KÖLLER O./ NEUBRAND, J. (1997): TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde. Opladen: Leske + Budrich.

BAUMERT, J./BOS, W./LEHMANN, R. (HRSG.) (2000): TIMSS/III. *Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn*, Bd. 1: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit; Bd. 2: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe. Opladen: Leske + Budrich.

BAUMERT, J. ET AL. (2001): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Deutsches PISA-Konsortium. Leske + Budrich, Opladen.

BAUMERT, J. / STANAT, P. (2010): Internationale Schulleistungsvergleiche. In: IN: ROST, D. (HRSG.) (2010): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. 4. überarbeitete und erweiterte Auflage. Beltz Verlag; Weinheim, Basel. S. 324-335.

BAUSKE, T. ET AL. (2009): Seydlitz/Diercke Geographie – Ausgabe 2009 für die Sekundarstufe II in Bayern: Schülerband 11, Schroedel & Westermann Verlag

BOYES, E., & STANISSTREET, M. (1992): Students' perceptions of global warming. *International Journal of Environmental Studies*, 42, S.287-300.

BOYES, E., & STANISSTREET, M. (1993): The greenhouse effect – Children's perception of global warming. *International Journal of Environmental Studies*, 15(5), S.531-552.

BOYES, E. & STANISSTREET, M. (1994): The ideas of secondary school children concerning ozone layer damage. *Global Environmental Change*, 4(4), S. 311-324.

BOYES, E., & STANISSTREET, M. (1997): Children's models of understanding of two major global environmental issues (ozone layer and greenhouse effect). *Research in Science & Technological Education*, 15(1). S. 19-28.

BOYES, E., & STANISSTREET, M. (1998): High school students' perceptions of how major global environmental effects might cause skin cancer. *Journal of Environmental Education*, 29(2), S.31-36.

- BOYES, E., STANISSTREET, M., & PAPANTONIOU, V. S. (1999): The ideas of Greek high school students about the ozone layer. *Science Education*, 83(6), S.724-737.
- BRANDSTÄTTER, V./ OTTO, J. H. (HRSG.) (2009): Handbuch der Allgemeinen Psychologie – Motivation und Emotion. Band 11; Hogrefe; Göttingen; 806 S.
- BURNS, B.D./RHEINBERG, F./VOLLMEYER, R. (2001). QCM: A questionnaire to assess current motivation in learning situations, *Diagnostika* 2, S. 57-66.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. (1991): Das Flow-Erlebnis und seine Bedeutung für die Psychologie des Menschen. In: M. Csikszentmihalyi & I.S. Csikszentmihalyi (Hg.), *Die außergewöhnliche Erfahrung im Alltag. Die Psychologie des Flow-Erlebens*. Stuttgart: Klett-Cotta Verlag. S. 28-49.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. (2000): Das flow-Erlebnis. 8. Auflage. Stuttgart; J. G. Cotta.
- DBRC – DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE (2003): Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), S. 5-8.
- DGFG – DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHIE (HG.) (2012): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss mit Aufgabenbeispielen.
- DOVE, J. (1996): Student teacher understanding of the greenhouse effect, ozone layer depletion and acid rain. *Environmental Education Research*, 2(1), S.89-100.
- DRECHSEL, B./PRENZEL, M./SEIDEL, T. (2009): Nationale und internationale Schulleistungsstudien. In: Wild, E./Möller, J. (Eds.), *Pädagogische Psychologie*; Heidelberg: Springer. S. 353-380.
- DRESEL, M./LÄMMLE, L. (HRSG.) (2011): Motivation, Selbstregulation und Leistungsexzellenz. Talentförderung Expertiseentwicklung Leistungsexzellenz Band 9. Lit Verlag Dr. W. Hopf; Berlin; 263 S.
- DUIT, R. (1993): Schülervorstellungen – von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 4, Heft 16, 1993, S. 4-10.
- DUIT, R., GROPENIEßER, H., & KATTMANN, U. (2005): Towards science education research that is relevant for improving practice: The Model of educational reconstruction. In H. E. Fischer (Ed.), *Developing standards in research on science education. The ESERA Summer School 2004* (pp. 1-9). London.: Taylor & Francis.
- DUIT, R. (2010): Didaktische Rekonstruktion. Piko-Brief 3. In: R. Duit & S. Mikelskis-Seifert, Hrsg., *Physik im Kontext – Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht* (CD-ROM). Seelze: Friedrich Verlag.
- DUIT, R., GROPENIEßER, H., KATTMANN, U., KOMOREK, M. & PARCHMANN, I. (2012): The model of educational reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. In: D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective* Vol. (5). Rotterdam: Sense Publisher, S.13-37.
- EDELSON, D. (2002): Design Reserach: What We Learn When We Engage in Design. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(1), S. 105-121.
- ENGESER, S., RHEINBERG, F., VOLLMEYER, R. & BISCHOFF, B. (2005): Motivation, Flow-Erleben und Lernleistung in universitären Lernsettings. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19, S. 159-172.
- FEULNER, B., OHL, U. & HÖRMANN, I. (2015): Design-Based Research – ein Ansatz empirischer Forschung und seine Potenziale für die Geographiedidaktik. *Zeitschrift für Geographiedidaktik*, 43. Jahrgang, Heft 3/2015, S.205-232.

FISHER, B. (1998): Australian students' appreciation of the greenhouse effect and the ozone hole. *Australian Science Journal*, 44(33), S. 46-55.

GERSTENMAIER, J./MANDL, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, S. 876-888

GOWDA, M.V.R., FOX, J.C., & MAGELKY, R.D. (1997): Students' understanding of climate change: Insights for scientists and educators. *Bulletin American Meteorological Society*, 78(1), S. 2232-2240.

GRÄBER, W. (2002): „Scientific Literacy“ – Naturwissenschaftliche Bildung in der Diskussion. In: Döbrich, P. (2002): Qualitätsentwicklung im naturwissenschaftlichen Unterricht Fachtagung am 15. Dezember 1999. Materialien zur Bildungsforschung Band 7; Gesellschaft zur Förderung Pädagogischer Forschung; Frankfurt am Main.

HALLITZKY, M./SEIBERT, N. (2005): *Didaktische Konzepte und Modelle*. In: Apel, H. J./Sacher, W. (2005): Studienbuch Schulpädagogik. Klinkhardt Verlag; Bad Heilbrunn; 2. Auflage, 462 S.

HAMMANN, M. (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. In: MNU 57(4), S. 196-203.

HAMMANN, M./KLIEME, E./ PEKRUN, R. (HRSG.) (2007): PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Münster: Waxmann.

HANSEN, P. J. (2010): Knowledge about the Greenhouse Effect and the Effects of the Ozone Layer among Norwegian Pupils Finishing Compulsory Education in 1989, 1993, and 2005 – What Now? *International Journal of Science Education*, 32(3), S. 397–419.

HECKHAUSEN, H. & RHEINBERG, F. (1980): Lernmotivation im Unterricht, erneut betrachtet. *Unterrichtswissenschaft*, Folge 8, S. 7- 47.

HEIMANN, P., OTTO, G. & SCHULZ, W. (HRSG.). (1965): *Unterricht – Analyse und Planung*. Hannover: Schroedel.

HEMMER, I. & M. HEMMER (1997A): Arbeitsweisen im Erdkundeunterricht – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung zum Schülerinteresse und zur Einsatzhäufigkeit. In: Frank, F. (Hrsg.): *Die Geographiedidaktik ist tot, es lebe die Geographiedidaktik*. München, S. 67–78.

HEMMER, I. & M. HEMMER (1997B): Lehrerinteresse und Schülerinteresse an Inhalten und Regionen des Geographieunterrichts – ein Vergleich auf der Grundlage empirischer Untersuchungen. In: Convey, A. & H. Nolzen (Hrsg.): *Geographie und Erziehung*. München, S. 119–128.

HEMMER, M. & I. HEMMER (2006): Kontinuität und Wandel im Schülerinteresse an einzelnen Themen des Geographieunterrichts – Ergebnisse zweier empirischer Untersuchungen aus den Jahren 1995 und 2005. In: Zolitschka, B. (Hrsg.): *Buten un binnen – wagen un winnen*. Tagungsband zum 30. Deutschen Schulgeographentag in Bremen 2006. Bremen, S. 181–185.

HEMMER, I. & M. HEMMER (2010): Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts. Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. Weingarten (= Geographiedidaktische Forschungen Band 46).

HEMMER, I. (2012): *Standards und Kompetenzen*. In: Haversath, J.-B. (Hrsg.): *Geographiedidaktik (= Geographisches Seminar)*. Westermann Verlag. Braunschweig 2012, S. 90-106.

HENKE, C. (2006): *Experimentell-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe – Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven*. Berlin: Logos.

- HÖRMANN, I. (2015): Erdbebenforschung im handlungsorientierten Geographieunterricht – ein naturwissenschaftliches kompetenzorientiertes Experiment. *GW-Unterricht* Ausgabe 2/2015, Heft 138. S.56-64.
- HÖRMANN, I. (2017A): Waldbrände in Alberta/Kanada – eine Sachanalyse ökologischer, ökonomischer und sozialer Folgen. *Praxis Geographie* Heft 6/2017, S. 46-49.
- HÖRMANN, I. (2017B): Das Schweinebeben von Lorca – Leistungsbeurteilung im Geographieunterricht am Beispiel des Wirkungsgefüges. *Praxis Geographie* 7-8/2017, S. 20-25.
- ISB BAYERN – STAATSNSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT UND BILDUNGSFORSCHUNG MÜNCHEN (2017 A): Fachlehrpläne Geographie am Gymnasium.
- ISB BAYERN – STAATSNSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT UND BILDUNGSFORSCHUNG MÜNCHEN (2017 B): Fachlehrpläne Physik am Gymnasium.
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGEIßER, H. & KOMOREK, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), S. 3-18.
- KATTMANN, U., DUIT, R. & GROPENGEIßER, H. (1998): Educational Reconstruction – Bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. In H. Bayrhuber & F. Brinkman (Eds.), *What – Why – How? Research in Didaktik of Biology*. Kiel: IPN. S. 253-262.
- KATTMANN, U. (2007): Didaktische Rekonstruktion - eine praktische Theorie. In: D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biolgie-didaktischen Forschung* (S. 93-104). Berlin, Heidelberg: Springer.
- KLAFKI, W. (1964): Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung, In: Heinrich Roth – Alfred Blumenthal (Hrg.), *Didaktische Analyse*, Reihe: Auswahl Reihe A, Bd. 1, Hannover: Schroedel. S.5-34.
- KLIEME, E./ARTELT, C./HARTIG, J./JUDE, N./KÖLLER, O./PRENZEL, M./SCHNEIDER, W./STANAT. P. (HRSG.) (2010): PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt. Waxmann: Münster u.a.
- KNOGLER, M. (2014): Investigating Student Interest in the Context of Problem-based Learning - A Design-based Research Study. Dissertation. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1231828/1231828.pdf>
- KÖLLER, O. (2010): *Bildungsstandards*. In: Rost, D. (Hrsg.) (2010): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. 4. Überarbeitete und erweiterte Auflage. Beltz Verlag; Weinheim, Basel. S. 77-82.
- KOULALIDIS, V., & CHRISTIDOU, V. (1999): Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, 83(5), S.559-576.
- KRAPP, A. & PRENZEL, M. (HRSG.) (1992): *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*. Münster: Aschendorff.
- KRAPP, A. (1996): Die Bedeutung von Interesse und intrinsischer Motivation für den Erfolg und die Steuerung schulischen Lernens. In: SCHNAITMANN, G. (Hrsg.): *Theorie und Praxis der Unterrichtsforschung*. Donauwörth (Auer). S. 87-110.
- KRAPP, A. (2009): *Interesse*. In: Brandstätter, V./ Otto, J. H. (Hrsg.) (2009): *Handbuch der Allgemeinen Psychologie – Motivation und Emotion*. Band 11; Hogrefe; Göttingen, S. 52-57.
- LEIGHTON, J. P., & BISANZ, G. L. (2003): Children's and adults' knowledge and models of reasoning about the ozone layer and its depletion. *International Journal of Science Education*, 25, S. 117-139.

LEYBOLD GERÄTEKARTE (O.J.): OZONLOCHPROBLEMATIK C5.3.2.2 ([https://www.ld-didactic.de/documents/de-DE/EXP/C/C5/C5322\\_d.pdf?\\_ga=2.213462036.1843958989.1505831163-1005362510.1505831163](https://www.ld-didactic.de/documents/de-DE/EXP/C/C5/C5322_d.pdf?_ga=2.213462036.1843958989.1505831163-1005362510.1505831163))

LIBARKIN, J.C., ASGHAR, A., CROCKETT, C. & SADLER, P. (2011): Invisible Misconceptions: Student Understanding of Ultraviolet and Infrared Radiation. *Astronomy Education Review*, 10(1), o. A. DOI 10.3847/AER2011022

LYNCH, S./ KUIPERS, J./PYKE, C./SZESZE, M. (2005): Examining the Effects of a Highly Rated Science Curriculum Unit on Diverse Students: Results from a Planning Grant. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 42/8, S.921-946

MEHREN, M. & R. UPHUES (2010): Gute Theorie ist praktisch – Kompetenzorientiert Unterrichten im Fach Geographie. In: *Terrasse 3*, S. 8–12.

MEHREN, M. & MEHREN, R. (2015): Kompetenzorientiert Unterrichten – aufgezeigt am Beispiel des Fachs Geographie. In A. Bresges, B. Dilger, T. Hennemann, J. König, H. Lindner, A. Rhode & D. Schmeinck (Hg.), *Kompetenzen perspektivisch. Interdisziplinäre Impulse für die LehrerInnenbildung*. Berlin: Waxmann. S.55-77.

MERGENDOLLER, J. R., MAXWELL, N. L., & BELLISIMO, Y. (2006): The Effectiveness of Problem-Based Instruction: A Comparative Study of Instructional Methods and Student Characteristics. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(2).

MÖNTER, L. & S. HOF (2012): Experimente. In: Haversath, J.-B. (Hrsg.): *Geographiedidaktik (= Geographisches Seminar)*. Braunschweig, S. 289–313.

MÖNTER, L.; OTTO, K.-H.; PETER, C. (2017): *Diercke - Experimentelles Arbeiten: Beobachten, Untersuchen, Experimentieren*. Braunschweig: Westermann.

MÜLLER, R. (2009): A brief history of stratospheric ozone research. *Meteorologische Zeitschrift*, 18(1), S. 3 – 24.

NIEBERT, K. (2010): *Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung*. Didaktisches Zentrum Oldenburg, Oldenburg.

NIEBERT, K., & GROPENGIESSER, H. (2013): The model of educational reconstruction: A framework for the design of theory-based content specific interventions. The example of climate change. In: T. PLOMP & N. NIEVEEN (EDS.), *Educational design research*. Enschede: SLO (Netherlands institute for curriculum development). S. 511-532.

NIEBERT, K., & GROPENGIESSER, H. (2014): Understanding the Greenhouse Effect by Embodiment – Analysing and Using Students and Scientists Conceptual Resources. *International Journal of Science Education*, S. 1 – 27.

OECD (1999): *Measuring Student Knowledge and Skills. A New Framework for Assessment*. Paris; OECD.

OECD (2001): *Lernen für das Leben. Erste Ergebnisse der internationalen Schulleistungsstudie PISA 2000*. Paris; OECD.

OECD (2003): *The PISA 2003 Assessment Framework. Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge and Skills*. Paris; OECD.

OECD (2008) *PISA 2006 – Schulleistungen im internationalen Vergleich – Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von morgen*. Bielefeld, W. Bertelsmann Verlag.

- ÖSTERLIND, K. (2005): Concept formation in environmental education: 14-year olds' work on the intensified greenhouse effect and the depletion of the ozone layer. *International Journal of Science Education*, 27(8), S.891-908.
- OTTO, K.-H. (2009): Experimentieren als Arbeitsweise im Geographieunterricht. In: *Geographie und Schule* 31, Heft 180, S.4-15
- OTTO, K.-H., L. MÖNTER, S. HOF & J. WIRTH (2010): Das geographische Experiment im Fokus empirischer Lehr-/Lernforschung. In: *Geographie und ihre Didaktik/Journal of Geography Education* 38. Jg., H. 3, S. 133–145.
- OTTO, K.-H., L. MÖNTER & S. HOF (2011): (Keine) Experimente wagen? In: Meyer, C, R. Henry & G. Stöber (Hrsg.): *Geographische Bildung: Kompetenzen in Forschung und Praxis*. Braunschweig, S. 98–113.
- OTTO, K.-H., & S. SCHULER (2012): Pädagogisch-psychologische Ansätze. In: Haversath, J.-B. (Hrsg.): *Geographiedidaktik (= Geographisches Seminar)*. Westermann Verlag. Braunschweig 2012, S. 133–164.
- PARCHMANN, I. (1996): Treibhauseffekt und Ozonloch - ein großes Durcheinander. *PLUS LUCIS*, 2, S. 33ff.
- PARCHMANN, I. ET AL. (1997): Behandlung des Themas Ozon im Chemieunterricht mit Hilfe anschaulicher Experimente. *PLUS LUCIS*, 1, 27ff.
- PETER, C. (2014): Problemlösendes Lernen und Experimentieren in der geographiedidaktischen Forschung – Eine Interventions- und Evaluationsstudie zur naturwissenschaftlichen Kompetenzentwicklung im Geographieunterricht. Gießen. Online: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2014/10703/>
- PETER, C. (2017): Experimentelles Arbeiten im Geographieunterricht: Forschungsergebnisse und Folgerungen für den Geographieunterricht. In: Mönter, L.; Otto, K.-H.; Peter, C. (Hrsg.): *Diercke - Experimentelles Arbeiten: Beobachten, Untersuchen, Experimentieren*. Braunschweig: Westermann. 10-13.
- PETERSEN, W. (2000): *Handbuch Unterrichtsplanung: Grundfragen – Modelle – Stufen – Dimensionen*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag; 9. Auflage. 462 S.
- PIAGET, J. & INHELDER, B. (1972): *Die Psychologie des Kindes*. Freiburg im Breisgau, Walter 163 S.
- PRUNEAU, D., MONCTON, U., LIBOIRON, L. AND VRAIN, E. (2001): People's idea about climate change: a source of inspiration for the creation of educational programs. *Canadian Journal of Environmental Education*, 6, S. 58-76.
- PISA-KONSORTIUM DEUTSCHLAND (HRSG.) (2007): *PISA 2006 in Deutschland. Die Kompetenzen der Jugendlichen im dritten Ländervergleich*. Waxmann, Münster, 424 S.
- PLOMP, T. & NIEVEEN, N. (2013): *Educational design research – Part B: illustrative cases*. SLO - Netherlands institute for curriculum development, Enschede, 1131 S.
- PRENZEL, M., KRAPP, A. & SCHIEFELE, H. (1986): Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32, 163-173.
- PRENZEL, M. (1999): Interesse. In: G. Reinhold, G. Pollak & H. Heim (Hrsg.), *Pädagogik- Lexikon*; München; Oldenbourg, S.272-273.
- PRENZEL, M./SCHIEFELE, U. (2001): *Motivation und Interesse*. In: L. Roth (Hrsg.): *Pädagogik. Handbuch für Studium und Praxis*; 2. Auflage; München; Oldenbourg, S. 919-930.

- PRENZEL, M./ROST, J./SENKBEIL, M./HÄUßLER, J./KLOPP, A. (2001): Naturwissenschaftliche Grundbildung. In: J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, P. Stanat, K.-J. Tillmann & M. Weiß (Hrsg.): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske & Budrich.
- PRENZEL, M. & PARCHMANN, I. (2003): *Kompetenz entwickeln. Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken*. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 14 (H. 76/77), S. 15-19.
- PRENZEL, M. ET AL. (HRSG.) (2004): *PISA 2003. Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Deutsches PISA-Konsortium. Zusammenfassung. Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel.
- PRENZEL, M., SCHÜTTE, K. & WALTER, O. (2007): *Interesse an den Naturwissenschaften*. In: M. Prenzel, C. Artelt, J. Baumert, W. Blum, M. Hammann, E. Klieme & R. Pekrun (Hrsg.), PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie; Münster; Waxmann; S. 107-124.
- PRUNEAU, D., GRAVEL, H., COURQUE, W., & LANGIS, J. (2003): Experimentation with a socio-constructivist process for climate change education. *Environmental Education Research*, 9(4), S. 429-446.
- REINFRIED, S., SCHULER, S., AESCHBACHER, U. & HUBER, E. (2008): Der Treibhauseffekt – Folge eines Lochs in der Atmosphäre? Wie Schüler sich ihre Alltagsvorstellungen bewusst machen und sie verändern können. *Geographie heute*, H. 265/266 (11/2008), S. 24-33.
- REINFRIED, S. (2010, HRSG.): Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Logos Verlag Berlin, 211 S.
- REINMANN, G. (2005): Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research Ansatz. *Unterrichtswissenschaft*, 33(1), S. 52-69.
- RHEINBERG, F. (O.J.): Sammlung der entwickelten Messverfahren einschließlich Handbücher, abzurufen unter: <http://www.psych.uni-potsdam.de/people/rheinberg/messverfahren/index-d.html>
- RHEINBERG, F., VOLLMEYER, R. & ROLLET, W. (2000): Motivation and action in self-regulated learning. In: Bokaerts, M., Pintrich, P. & Zeidner, M. (Hrsg.): *Handbook of self-regulation: Theory, research and application*. San Diego (Academic Press). S. 503-529.
- RHEINBERG, F., VOLLMEYER, R. & BURNS, B.D. (2001): FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostika* 2, S. 57-66.
- RHEINBERG, F., VOLLMEYER, R., & ROLLETT, W. (2002): Motivation and self-regulated learning: A type analysis with process variables. *Psychologia*, 45, S. 237-249.
- RHEINBERG, F., VOLLMEYER, R. & ENGESER, S. (2003): Die Erfassung des Flow-Erlebens. In: J. Stiensmeier-Pelster & Falko Rheinberg (Hrsg.): *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept (Tests und Trends N. F. 2)*. Göttingen. Hofgreve. S.261-279.
- RHEINBERG, F. (2004): Motivationsdiagnostik: Kompendien. Psychologische Diagnostik Band 5. Hogrefe-Verlag; 1. Auflage; 170 S.
- RHEINBERG, F./KRUG, S. (2004): Motivationsförderung im Schulalltag: Psychologische Grundlagen und praktische Durchführung. Hogrefe Verlag; 3. Korrigierte Auflage; 215 S.
- RHEINBERG, F. (2004): Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. In: Heckhausen J. und Heckhausen H. (Eds): *Motivation und Handeln* (3. Auflage); Berlin; Springer.

RHEINBERG, F., VOLLMEYER, R. & MANIG, Y. (2005): Flow-Erleben: Untersuchungen zu einem populären, aber unterspezifizierten Konstrukt. ESM-Studie: Flow-Erleben unter Alltagsbedingungen. Potsdam, Psychologisches Institut der Universität Potsdam.

RHEINBERG, F. & ENGESER S. (2007): Motivförderung und Motivationale Kompetenz. Deutsche Version vorbereitet für O.C. Schultheiss & J.C. Brunstein (Eds.): *Implicit Motives*. Oxford: University Press.

RHEINBERG, F. (2009): Intrinsische Motivation. In: Brandstätter, V./ Otto, J. H. (Hrsg.) (2009): *Handbuch der Allgemeinen Psychologie – Motivation und Emotion*. Band 11; Hogrefe; Göttingen; S. 258-265.

RHEINBERG, F. (2009): Motivation. In: Brandstätter, V./ Otto, J. H. (Hrsg.) (2009): *Handbuch der Allgemeinen Psychologie – Motivation und Emotion*. Band 11; Hogrefe; Göttingen; S. 668-674.

RINSCHDEDE, G. (2005): *Geographiedidaktik*. Schöningh-UTB – Verlag. Paderborn/München/Wien/Zürich 2. Auflage; 513 S.

ROAN, S. L. (1989): *Ozone crisis*. Wiley, New York.

ROST, D. (2005): *Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien*. Beltz, Weinheim.

ROST, D. (HRSG.) (2010): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. 4. Überarbeitete und erweiterte Auflage. Beltz Verlag; Weinheim, Basel. 1020 S.

RYE, J., RUBBA, P., WIESENMYER, R. (1997): An investigation of middle school students' alternative conceptions of global warming as formative evaluation of teacher-developed STS units. *International Journal of Science Education* 19 (5), S. 527-551.

RUBIN, M. B. (2001): The history of ozone. The Schönbein period, 1839 – 1868, *Bull. Hist. Chem.* 26(1), S. 40 – 56.

SCHECKER, H.& PARCHMANN, I. (2006): *Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz*. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, S. 67-76.

SCHIEFELE, U. & SCHREYER, I. (1994): Intrinsische Lernmotivation und Lernen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 8 (1), S. 1-13.

SCHIEFELE, U. (2009): *Motivation*. In: Wild, E./Möller, J. (Hrsg.) (2009): *Pädagogische Psychologie*. Springer Medizin Verlag Heidelberg. S. 151- 178.

SCHIEFELE, U. & KÖLLER, O. (2010): Intrinsische und extrinsische Motivation. In: Rost, D. (Hrsg.) (2010): *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. 4. überarbeitete und erweiterte Auflage. Beltz Verlag; Weinheim, Basel. S. 336-344.

SCHMIDTKE, K.-D. (1990): *Fünf-Minuten-Experimente für den Geographieunterricht*, Köln.

SCHÖPS, A., PETERS, TH., HEMMER, I., VAN DER LINDEN, F. U. S. HAUßNER (2015): Der Klimawandel im Geographieunterricht. Schüler(wohl-)vorstellungen, Klimamesstechnik und Auswertung von Klimadaten, Binnendifferenzierung und Experimentelle Lernmethoden als Impulse für die unterrichtliche Umsetzung eines anspruchsvollen Themas. In: *Der Bayerische Schulgeograph*. Heft 77. 36. Jahrgang. S. 7-15.

SCHUBERT, J.C. (2016): Kognitiv aktivierend und eigenständig Experimentieren. Schüler erforschen das Wasserhaltevermögen von Böden. In: *Geographie aktuell & Schule* 38 (2016), S. 24-34.

- SCHULER, S. (2005): Umweltwissen als Subjektive Theorie. Eine Untersuchung von Schülervorstellungen zum globalen Klimawandel. In: Schrenk, M. & Holl-Giese, W. (Hrsg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung – Ergebnisse empirischer Untersuchungen. Hamburg, S. 97-112
- SCHULER, S. (2010): Wie entstehen Schülervorstellungen? – Erklärungsansätze und didaktische Konsequenzen am Beispiel des globalen Klimawandels. In: Reinfried, S. (Hrsg.): Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Berlin: Logos, S. 157-188.
- SCHULER, S. (2011): Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels – Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive. Dissertation. Bochumer Geographische Arbeiten Bd. 78. Bochum: Europäischer Universitätsverlag.
- SOLOMON, S. (1999): Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history. *Rev. Geophys.*, 37(3), S. 275 – 316.
- SUPING, S.M. (2004): Examining student understanding of the science of a societal issue in Botswana effects of ultraviolet radiation on the human skin. Dissertation. Ohio State University, 224 S.
- SWELLER, J. (1988): Cognitive load during problem-solving: Effects on learning. In: *Cognitive Science*, 12, S.257-285
- SWELLER, J. (1994): Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), S. 295-312.
- TULODZIECKI, G., GRAFE, S. & HERZIG, B. (2013): Gestaltungsorientierte Bildungsforschung und Didaktik. Theorie-Empirie-Praxis. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- VAN DIJK, E. & KATTMANN, U. (2007): A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 23, S. 885-897.
- VOLLMMEYER, R. & RHEINBERG, F. (1998): Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12, S. 11-24.
- VOLLMMEYER, R. & RHEINBERG, F. (1999): Motivation and metacognition when learning a complex system. *European Journal of Psychology of Education*, 14, S. 541-554.
- VOLLMMEYER, R. & RHEINBERG, F. (2006): Motivational effects on self-regulated learning with different tasks. *Educational Psychology Review*. 18, S. 239-253.
- WILD, E.& MÖLLER, J. (HRSG.) (2009): Pädagogische Psychologie. Springer Medizin Verlag Heidelberg. 495 S.
- WILHELM, T. & HOPF, M. (2014): Design-Forschung. In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum. S.31-42.

## F. Anhang

### 1. Anschreiben



Fakultät für Angewandte Informatik

Lehrstuhl für Didaktik der Geographie

Prof. Dr. Ulrike Ohl / Isabel Hörmann (Ansprechpartnerin)

#### Forschungsprojekt

#### „Schülervorstellungen und methodische Arbeitsweisen im Geographieunterricht“

Sehr geehrte Erziehungsberechtigte,

im Rahmen dieses Schreibens werden Sie über die freiwillige Teilnahme ihres Kindes an einem laufenden Forschungsprojekt des Lehrstuhls für Didaktik der Geographie an der Universität Augsburg informiert.

Zahlreiche Studien belegen, dass Schülerinnen und Schüler die voneinander unabhängigen Themenfelder ‚Treibhauseffekt‘ und ‚Ozon(-loch)‘ fälschlicherweise oft als ein Phänomen wahrnehmen. Auch wurde bereits erkannt, welche Schwierigkeiten die Lernenden mit der Unterscheidung der einzelnen Strahlungsarten und deren Wirkungen haben.

Das Forschungsprojekt untersucht das Fachwissen über die oben genannten Themen und eruiert in einer Experimentierreihe sowohl die naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz ihres Kindes als auch die motivationalen Wirkungen der experimentgestützten Lehr-Lern-Umgebung.

Die Bearbeitung des Fachwissenstests und die Arbeit an den einzelnen Experimenten finden während des Schulunterrichts statt und nehmen ca. vier Schulstunden in Anspruch. Sämtliche Ergebnisse aus der Untersuchung werden anonymisiert, so dass auf den einzelnen Teilnehmer keine Rückschlüsse gezogen werden können.

Ich sehe in der aktiven Teilnahme ihres Kindes die Chancen, das Fachwissen zu erweitern und die Fähigkeiten und Fertigkeiten in naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zu verbessern. Im Hinblick auf den Lehrplan der Neuen Oberstufe sind die oben genannten Themen fest verankert, so dass ihr Kind möglicherweise mit einem Wissensvorsprung in die Abiturvorbereitung geht. Letztendlich strebt das Forschungsprojekt einen wichtigen Beitrag zur Unterrichtsentwicklung und Qualitätssicherung an.

Sollten Sie Fragen zum Projekt haben, so teilen Sie dies bitte schriftlich an die betreffenden Lehrkräfte mit.

Herzlichen Dank für Ihre Kooperationsbereitschaft.

Mit besten Grüßen

Isabel Hörmann, StRin

## 2. Testinstrument NAW und Fachwissen



Fakultät für Angewandte Informatik

Lehrstuhl für Didaktik der Geographie

Isabel Hörmann, StRin

### Test

#### Naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz und Fachwissen

Tragen Sie in das nachstehende Kästchen ihre Initialen und die ersten beiden Ziffern ihres Geburtsdatums sowie ihr Geschlecht und Alter ein:

(z.B. Thomas Bauer, 06.01.1999 → TB06-m-18; Lisa Müller, 12.11.2000 → LM12-w-16)

Bitte geben Sie Ihre Halbjahreszeugnisnote im Fach Geographie an: \_\_\_\_\_

Bitte geben Sie Ihre Halbjahreszeugnisnote im Fach Physik an: \_\_\_\_\_

Liebe Schülerinnen und Schüler,

der nachfolgende Test setzt sich mit Aufgaben zu den Themen *Strahlung* (insbesondere UV-Strahlung), *Ozonherstellung* und *Ozonzerstörung* auseinander.

Dabei wird sowohl ihr Fachwissen über diese Themenfelder untersucht als auch ihre naturwissenschaftliche Arbeitstechnik-Kompetenz erforscht.

Für die Bearbeitung des Tests haben Sie 45 Minuten Zeit.

Lesen Sie dabei genau die Arbeitsanweisung durch und beantworten Sie dann die von Ihnen zu bearbeitenden Aufgaben so gut Sie können.

Es gibt Aufgaben, in denen Fragen zu einem geschilderten Experiment beantwortet werden, aber auch solche, in denen Sie selbst ein Experiment planen sollen.

Bei vielen Aufgaben sollen Sie Aussagen mit „**Ja**“ oder „**Nein**“ beantworten. Entscheiden Sie dabei für jede Aussage einzeln und kreuzen entweder „**Ja**“ oder „**Nein**“ an.

Bei einer anderen Art von Aufgaben werden Sie aufgefordert, ihre Antwort in einem Text zu formulieren. Bitte achten Sie darauf, dass ein anderer ihre Antwort erstens **lesen** und dann auch noch **verstehen** muss. Versuchen Sie also bitte, ihre Antwort so **präzise** wie möglich zu **formulieren** und **deutlich** zu **schreiben**.

**Vielen Dank für die Beantwortung des Fragebogens!** ☺

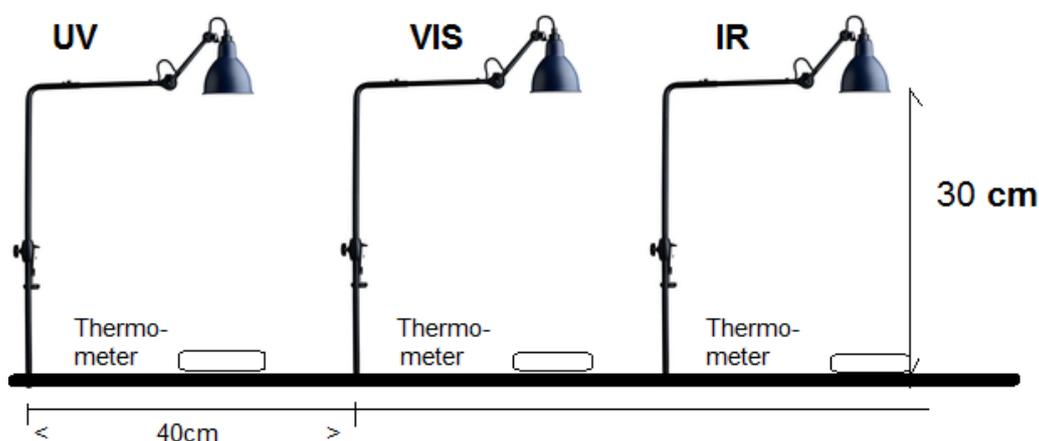
## Aufgabe 1

Von der Sonne wird fortwährend Strahlung *emittiert* (ausgesandt), welche u.a. auch unseren Heimatplaneten Erde erreicht. Dabei ist der Begriff ‚Strahlung‘ an sich zwar richtig, jedoch viel zu ungenau. Die Strahlung, die von der Sonne auf die Erde gelangt, besteht aus

- Ultravioletter Strahlung (kurz: UV-Strahlung)
- Sichtbarer Strahlung (kurz: VIS-Strahlung)
- Infrarot- Strahlung (kurz: IR-Strahlung), auch Wärmestrahlung genannt

### Experiment A

Auf einer Tischplatte werden im Abstand von 40cm zueinander eine UV-Lampe, eine gewöhnliche Tischlampe (VIS) sowie eine IR-Lampe platziert. Alle drei Leuchtmittel befinden sich 30 cm über der Tischplatte. Unter den jeweiligen Lampen liegt ein Thermometer, welches die Raumtemperatur in °C anzeigt. Nun werden alle drei Lampen gleichzeitig angeschaltet und nach einer Brenndauer von 2 Minuten wieder abgeschaltet.



### Ergebnis

	UV-Lampe	VIS-Lampe	IR-Lampe
Temperatur vorher	20,2 °C	20,2 °C	20,2 °C
Temperatur nachher	21,1 °C	28,1 °C	31,8 °C

### Welche Schlüsse lassen sich aus diesem Experiment ziehen?

	Ja	Nein
Die Abstände zwischen Leuchtmittel und Thermometer waren unterschiedlich groß, und deshalb erwärmt sich das unter der IR-Lampe liegende Thermometer stärker.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei der Bestrahlung der Thermometer wird gleich viel Wärmeenergie verbraucht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei der Bestrahlung der Thermometer mit sichtbarem und IR-Licht wird mehr Wärmeenergie frei als bei UV-Strahlung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Thermometer unter der UV-Lampe wird weniger erwärmt, weil UV-Strahlung weniger energiereich ist als sichtbare oder IR-Strahlung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Experiment B

Nun wird das Experiment abgeändert. Der Abstand der Strahlungsquelle zum Thermometer wird nun halbiert (15 cm). Sowohl die Strahlungsquellen als auch die Thermometer sowie die Bestrahlungszeit von 2 Minuten bleiben im Vergleich zum vorangegangenen Experiment identisch.

### Ergebnis

	UV-Lampe	VIS-Lampe	IR-Lampe
Temperatur vorher	20,2 °C	20,2 °C	20,2 °C
Temperatur nachher	21,7 °C	34,6 °C	44,9 °C

### Welche Schlüsse lassen sich aus diesem Experiment in Verbindung mit den vorherigen Versuchsergebnissen ziehen?

	Ja	Nein
Bei der Halbierung des Abstandes der Strahlungsquellen zum Thermometer ist eine direkte Proportionalität von Abstand und Temperaturanstieg erkennbar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei der Halbierung des Abstandes wird gleich viel Wärme von den Einzellampen abgestrahlt, wie im vorangegangenen Versuch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei der Halbierung des Abstandes zwischen Strahlungsquelle und Thermometer liefern die VIS- und IR-Lampe die stärksten Temperaturanstiege.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei der Halbierung des Abstandes zwischen Strahlungsquelle und Thermometer erwärmt die UV-Lampe das Thermometer am wenigsten, da deren Strahlung weniger gefährlich und somit energieärmer ist als die der sichtbaren und IR-Strahlung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Experiment C

Nun wird das Experiment wiederholt. Anstelle eines Thermometers wird jeweils ein nahezu identisches Blatt einer Zimmerpflanze unter die einzelnen Strahlungsquellen platziert. Der Abstand zwischen Leuchtmittel und Pflanzenblatt beträgt 15cm, die Bestrahlungsdauer beträgt 2 Minuten.

### Ergebnis

Anteil der intakten zur verbrannten Blattoberfläche	UV-Lampe	VIS-Lampe	IR-Lampe
Blatt vorher (intakt)	100 %	100 %	100 %
Blatt nachher (intakt)	ca. 60 %	ca. 98 %	ca. 90%

### Welche Schlüsse lassen sich aus diesem Experiment in Verbindung mit den vorherigen Versuchsergebnissen ziehen?

	Ja	Nein
Wenn die UV-Lampe auf das Pflanzenblatt strahlt, dann verdorrt dieses stärker, aber erwärmt sich weniger stark als mit einer Bestrahlung von der Tisch- bzw. IR-Lampe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn die IR-Lampe und die Tischlampe auf das Pflanzenblatt doppelt so lange strahlen, dann ist die Verbrennung genauso stark wie bei der Bestrahlung mit UV-Licht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wenn die Bestrahlung des Pflanzenblattes mit UV-Licht eine Verbrennung von nahezu 40% der Blattoberfläche bewirkt, dann muss UV-Strahlung energiereicher und somit gefährlicher sein als die anderen beiden Strahlungsquellen.

Wenn man den Abstand zwischen IR- und VIS- Lampe zum Pflanzenblatt halbiert, dann entspricht die Verbrennung des Pflanzenblattes auch nahezu der bei UV-Licht.

## Aufgabe 2

Unter UV-Strahlung versteht man elektro-magnetische Strahlung, deren Wellenlänge zwischen 100nm und 300nm beträgt. Sichtbares Licht erstreckt sich zwischen 300nm (blaues Licht) und 750nm (rotes Licht), IR-Strahlung besitzt eine Wellenlänge ab 750nm.

UV-Strahlung unterteilt sich in drei weitere Bereiche:

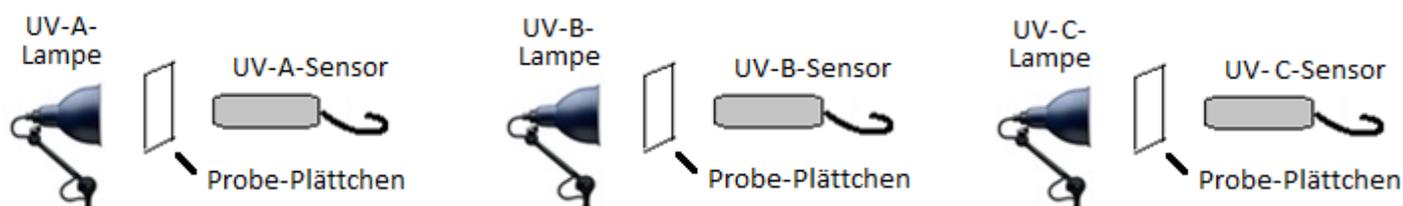
	Wellenlänge	Eigenschaften / Vorkommen
<b>UV-A-Strahlung</b>	315-380nm	Verursacht <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pigmentierung der Haut</li> <li>- Hautkrebs</li> </ul> Gelangt von der Sonne auf die Erde.
<b>UV-B-Strahlung</b>	280-315nm	Verursacht <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hautrötungen</li> <li>- Sonnenbrand</li> <li>- Blasenbildung auf der Haut</li> <li>- Hautkrebs</li> </ul> Gelangt von der Sonne auf die Erde.
<b>UV-C-Strahlung</b>	100-280nm	Gelangt nicht von der Sonne auf die Erde.

**UV-C-Strahlung ist energiereicher als UV-B-Strahlung, UV-B-Strahlung ist energiereicher als UV-A-Strahlung, es gilt:  $E_{UV-C} > E_{UV-B} > E_{UV-A}$**

## Experiment A

Der oben stehenden Tabelle ist zu entnehmen, dass UV-Strahlung energiereich und somit gefährlich ist. Im nachstehenden Experiment wurde überprüft, durch welche Materialien sich die UV-A, UV-B- und UV-C Strahlung absorbieren (filtern) lässt.

Zwischen der Strahlungsquelle und dem dazugehörigen Sensor wird jeweils ein Plättchen angebracht, welches die betreffende Strahlung absorbieren soll. Am Sensor wird in der Einheit  $[W/m^2]$  angegeben, wie viel Strahlung durch das Probe-Plättchen dringt.



In einer Reihe von Versuchen mit verschiedenen Materialien (z.B. Plättchen aus Fensterglas, Quarzglas) wird überprüft, wie viel Strahlung durch das Probe-Plättchen gelangt und am Sensor auftrifft. Jeweils vor und nach der Anbringung des Probe-Plättchens wird die am jeweiligen Sensor *detektierte* (ankommende) Strahlung gemessen. Die gesamte Messreihe ist der nachstehenden Tabelle zu entnehmen:

**Intensitätsmessung in W/m<sup>2</sup>**

	Fensterglas	Quarzglas	Plexiglas	PVC	Leermessung (ohne Probe)
<b>UV-A-Strahlung</b>	8,87	9,03	2,25	0,33	<b>9,45</b>
<b>UV-B-Strahlung</b>	0,12	1,09	0	0	<b>1,28</b>
<b>UV-C-Strahlung</b>	0,05	11,92	0,06	0,05	<b>13,47</b>

**Welchen Verallgemeinerungen stimmen Sie aufgrund der dargestellten Daten in der Tabelle zu?**

	Ja	Nein
Wenn man Plättchen zwischen Strahlungsquelle und Sensor anbringt, wird immer Strahlung absorbiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn man Quarzglas als Absorber verwendet, kommt weniger Strahlung an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn man alle vier Probematerialien aneinanderreicht, dann kommt bei allen Strahlungen nichts mehr am Sensor an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn man fünf Plexiglas- oder PVC-Plättchen zwischen Strahlungsquelle und Sensor anbringt, kommt trotzdem noch Strahlung am Sensor an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Welchen Transmissionswert T erwarten Sie, wenn man die Ergebnisse des obigen Versuchs zur Berechnung heranzieht? Die Transmission errechnet sich aus**

$$T = \frac{I_T}{I_0} = \frac{\text{transmittede Intensität}}{\text{einfallende Intensität}}, \quad \text{mit } I_0 \text{ gleich dem detektierten Wert der Leermessung.}$$

	Ja	Nein
Transmission von Fensterglas und UV-A-Strahlung bei ca. 85%.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transmission von Plexiglas und UV-B-Strahlung bei ca. 0%.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transmission von PVC und UV-C-Strahlung bei ca. 2%.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transmission von Quarzglas und allen UV-Strahlungen bei ca. 75-95%.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

An einem sonnigen Tag sitzen Sie am geschlossenen Fenster und genießen die Sonne. Ihre Mutter jedoch möchte nicht, dass Sie zu lange dort sitzen, weil sie der Meinung ist, dass man durch die UV-Strahlung Hautkrebs bekommen könnte. Sie entgegnet ihr aber, dass die UV-Strahlung nicht durch das Fensterglas gelangt. Begründen Sie bitte kurz, wer von Ihnen beiden Recht hat.

.....  
.....  
.....

**Aufgabe 3**

**Stellen Sie vor der Versuchsdurchführung mit Hilfe der nachstehenden Begriffe sieben Hypothesen zum UV-Schutz (z.B. Je größer der Baum, desto länger der Schatten) auf!**

Wasserfestes Sonnenschutzmittel – frühzeitiges Auftragen des Sonnenschutzmittels – Gleichmäßiges Auftragen des Sonnenschutzmittels – wiederholtes Auftragen des Sonnenschutzmittels – kurze Aufenthaltsdauer – Anzahl der Kleidungsstücke – hoher Lichtschutzfaktor

Je ....., desto .....

**Ihr Lehrer schlägt nun vor, die Wirkungen von UV-Strahlung auf organische Körper selbst experimentell nachzuweisen. Gleichzeitig sollen Sie möglichst genau experimentell bestimmen, wie man sich am besten vor UV-Strahlung schützen kann.**

Ihnen stehen folgende Materialien zur Verfügung:

- eine UV-B-Strahlungsquelle
- eine Stoppuhr
- Äpfel
- Sonnenschutzmittel
- ein Aufkleber
- Sonnenschutzmittel mit hohem Lichtschutzfaktor (LSF)

**Planen Sie nun unter Verwendung der oben genannten Materialien einen Versuch, der die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen vor UV-(B)-Strahlung eindrucksvoll demonstriert.**

***Beschreiben Sie bitte im Folgenden ihr Experiment. Versuchen Sie, jeden ihrer geplanten Arbeitsschritte zu begründen.***

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

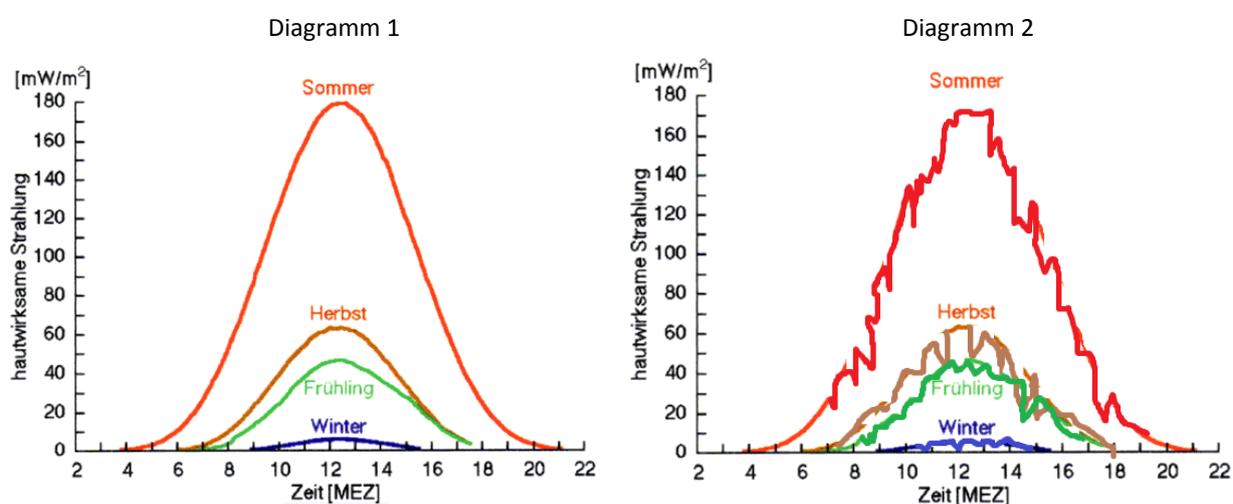
Leiten Sie auf Basis der vorangegangenen Aufgaben ab, welche Konsequenzen das ungehinderte Auftreffen der UV-Strahlung auf die Erde für Menschen, Tiere und Pflanzen besitzen.

.....

.....

#### Aufgabe 4

Ein geo-physikalisch interessierter Hautarzt erkannte, dass sich die Anzahl der an Hautkrebs erkrankten Patienten zunehmend vergrößert. Um neben einem sinnvollen Haut-Screening seine Patienten noch weiter über die Gefahr von UV-Strahlung aufmerksam zu machen, führte der Dermatologe über ein ganzes Jahr hinweg eine Messung der auf der Erde auftreffenden UV-B-Strahlung durch. Sein digitales Messgerät zeichnete rund um die Uhr alle registrierten UV-B-Strahlen ein Jahr lang auf. Das erste Diagramm zeigt die *detektierten* (=auf der Erde ankommenden) UV-B-Strahlen (in  $\text{mW}/\text{m}^2$ ) in Abhängigkeit von der Uhrzeit im Verlauf eines Jahres ohne Berücksichtigung von Wolken, das zweite Diagramm zeigt den Einfluss von Wolken.



(Diagramm 1 aus : <http://www.uni-kiel.de/med-klimatologie/uvinfo.html>, Diagramm 2 eigenständige Abänderung von Diagramm 1)

Versuchen Sie mit eigenen Worten die beiden Diagramme zu interpretieren.

.....

.....

.....

Erläutern Sie Schutzmaßnahmen vor Hautkrebs, die der Dermatologe seinen Patienten – u.a. auf Grundlage der oben stehenden Diagramme - empfiehlt.

.....

.....

.....

## Aufgabe 5

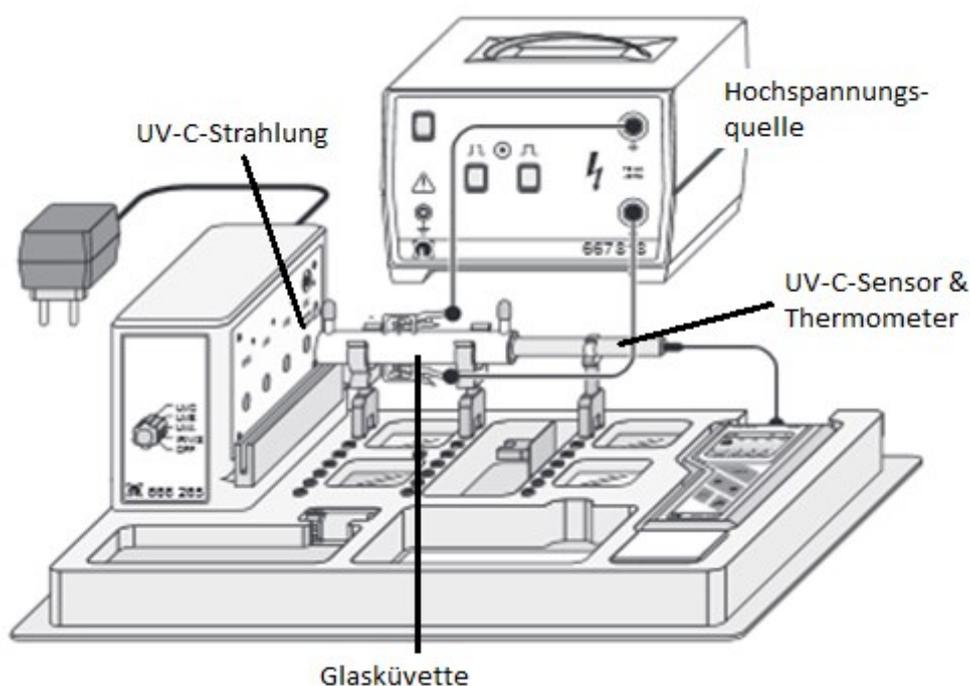
**Der Lehrer äußert nun folgende Hypothesen:**

*Wenn die Ozonkonzentration in der Stratosphäre in einer Höhe von gut 20km über der Erdoberfläche zunimmt, dann nimmt automatisch der Anteil der UV-Strahlung ab, der von Sonne auf die Erde gelangt.*

*Wenn die Ozonkonzentration in der Stratosphäre in einer Höhe von ca. 20km über der Erdoberfläche zunimmt, dann nimmt die durchschnittliche Temperatur auf der Erde ab, weil die Ozonschicht keine UV-Strahlung mehr hindurchlässt.*

**Die experimentelle Überprüfung der beiden Hypothesen wird das Ziel des nächsten Experiments sein.**

### **Aufbau**



**(Abb. aus: Leybold Gerätekarte C.5.3.2.2)**

### **Durchführung**

Zwischen der UV-C-Strahlungsquelle und dem UV-C-Sensor befindet sich eine mit zwei Elektroden versehene Glasküvette. Zunächst soll am UV-C-Sensor der Anteil der UV-C-Strahlung abgelesen werden, der durch die mit Luft gefüllte Glasküvette dringt (Fixierung der Daten aus der Leermessung).

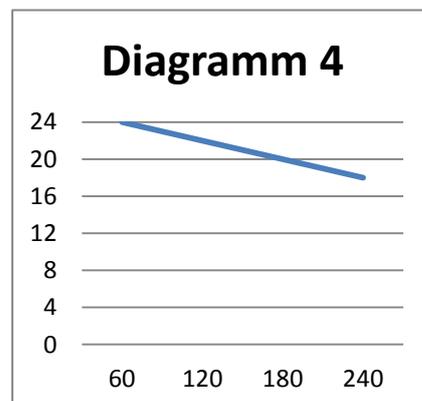
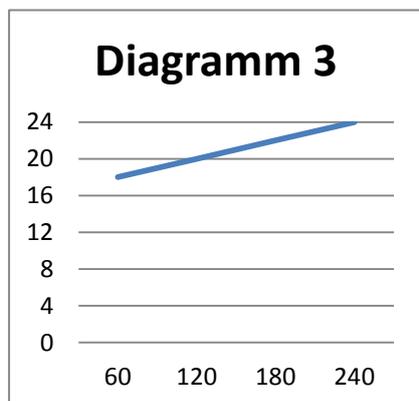
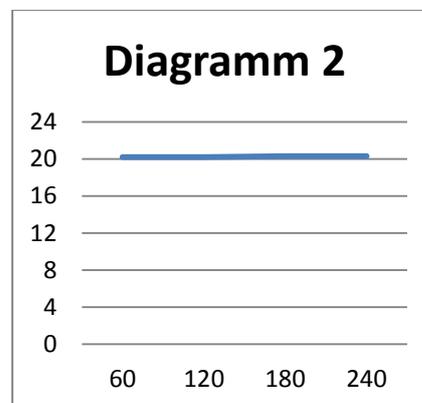
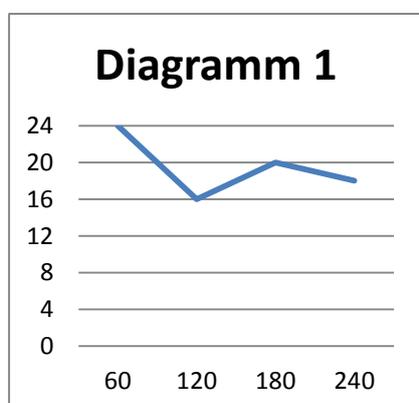
Als nächstes muss man eine Hochspannungsquelle ( $\sim 8,5$  kV) an die Elektroden der Glasküvette mittels Krokodilklemmen und Kabel anschließen, um so durch Hochspannung Ozon zu erzeugen. Sobald sich am UV-C-Sensor ein Repräsentanzwert ( $\approx$  konstanter Wert) eingependelt hat, wird dieser abgelesen und notiert. Gleichzeitig wird die Zeit bestimmt, die vom Ausgangswert der Leermessung bis zum Repräsentanzwert am UV-C-Sensor verstreicht.

### Welche Beobachtungen würden Sie bei diesem Versuch erwarten?

	Ja	Nein
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit zunehmender Ozonkonzentration an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit zunehmender Ozonkonzentration gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit zunehmender Ozonkonzentration ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt bei zunehmender Ozonkonzentration zunächst zu, aber nachdem der Repräsentanzwert erreicht wird, wieder ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

In einem Diagramm werden daraufhin die einzelnen Wertepaare aufgezeichnet. Dabei zeigt die x-Achse die Zeit  $t$  zwischen 0s und 240s und die y-Achse die Temperatur zwischen 0 und 24°C an. Der Graph spiegelt den zeitlichen Verlauf der am Thermometer festgehaltenen Temperatur während der Ozonherstellung wieder.

Schauen Sie sich die folgenden vier Diagramme genau an und beantworten Sie danach die Fragen.



Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während der Ozonherstellung an, den Sie erwarten würden?

Diagramm  1  2  3  4

Begründen Sie bitte kurz Ihre letzte Antwort:

.....

.....

## **Aufgabe 6**

Seit Mitte der 1970er Jahre veröffentlichten die Wissenschaftler Mario J. Molina und Frank Sherwood Rowland immer wieder Artikel, die den Einfluss von Chlor aus FCKWs auf die Ozonschicht thematisieren. Dabei zeigen die beiden Autoren auf, wie das in der Industrie, in Spraydosen und Kühlschränken enthaltene Chlor in der Lage ist, Ozonmoleküle zu zerstören.

1984 wurde das sogenannte ‚Ozonloch‘ über der Antarktis entdeckt. Unter dem Ozonloch versteht man die signifikante Abnahme des Ozonmoleküls in der Stratosphäre. Die Ausdünnung der Ozonschicht ist u.a. auf den vom Menschen verursachten FCKW Eintrag in die Atmosphäre zurückzuführen.

### **Hier eine von Wissenschaftlern anerkannte Hypothese:**

In einer Höhe von 22km über der Erdoberfläche befindet sich die stärkste Anreicherung des Ozonmoleküls, die sogenannte Ozonschicht.

*Sobald FCKWs, insbesondere Chlor, zur Ozonschicht gelangen, werden dort Ozonmoleküle zerstört und somit der Anteil der auf die Erde gelangenden UV-Strahlen höher. Einen Temperaturunterschied durch eine höhere oder geringere Ozonkonzentration in der Stratosphäre können wir hier auf der Erde – anders als beim Treibhauseffekt - nicht erkennen. Jedoch nimmt die Zahl an Hautkrebskranken in den letzten Jahrzehnten augenscheinlich zu.*

### **Die Aufgabe besteht nun darin, ein Experiment zu entwickeln, dessen Ergebnis diese Hypothese stützt.**

Für die Durchführung des Experimentes stehen mehrere Materialien und Chemikalien zur Verfügung, die aber nicht alle eingesetzt werden müssen.

1 UV-C-Lampe	1 UV-C-Sensor	5ml <u>D</u> ichlormethan = DCM (als FCKW-Ersatz)
1 mit Ozon angereicherte Glasküvette*	1 Thermometer	1 Mundschutz
1 Paar Handschuhe	1 Spritze	

*\*Glasküvette enthält eine Abdichtung, die jeder Zeit entfernt werden kann.*

### **Im Folgenden beschreiben Sie bitte Ihr Experiment.**

#### **Geplante Durchführung:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Erwartete Beobachtung:**

.....

.....

.....

.....

**Warum ist gerade das von Ihnen geplante Experiment in der Lage, die Hypothese zu stützen bzw. zu bestätigen?**

.....

.....

.....

**Aufgabe 7**

Zum Schutze der Ozonschicht wurden zahlreiche politische Aktionen initiiert, die sich mit dem Verbot von FCKWs und sonstigen Ozon-zerstörenden Substanzen befassten.

Im Montrealer Protokoll von 1987 wurde das internationale Verbot von FCKWs schriftlich festgehalten.

**Welche der folgenden Aussagen sind aufgrund der zahlreichen Aktionen und des Protokolls von Montreals zutreffend?**

	Ja	Nein
FCKWs sind unter Berücksichtigung dieses Verbots <u>keine</u> Ozon-schädigenden Substanzen, im Sinne dieser Abkommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einem Bademeister ist es gestattet, das Badewasser zu chloren und Eis aus Kühltruhen (mit FCKW-Anteil) zu verkaufen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spraydosen und Kühlmittel, die FCKW enthalten, dürfen unter Berücksichtigung des Verbots nicht verwendet werden und müssen fachgerecht entsorgt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Bekannt ist, dass FCKWs – insbesondere Chlor – Ozonmoleküle zerstören. Dabei kann ein einziges Chlor-Atom bis zu 100.000 Ozon-Moleküle zerstören.**

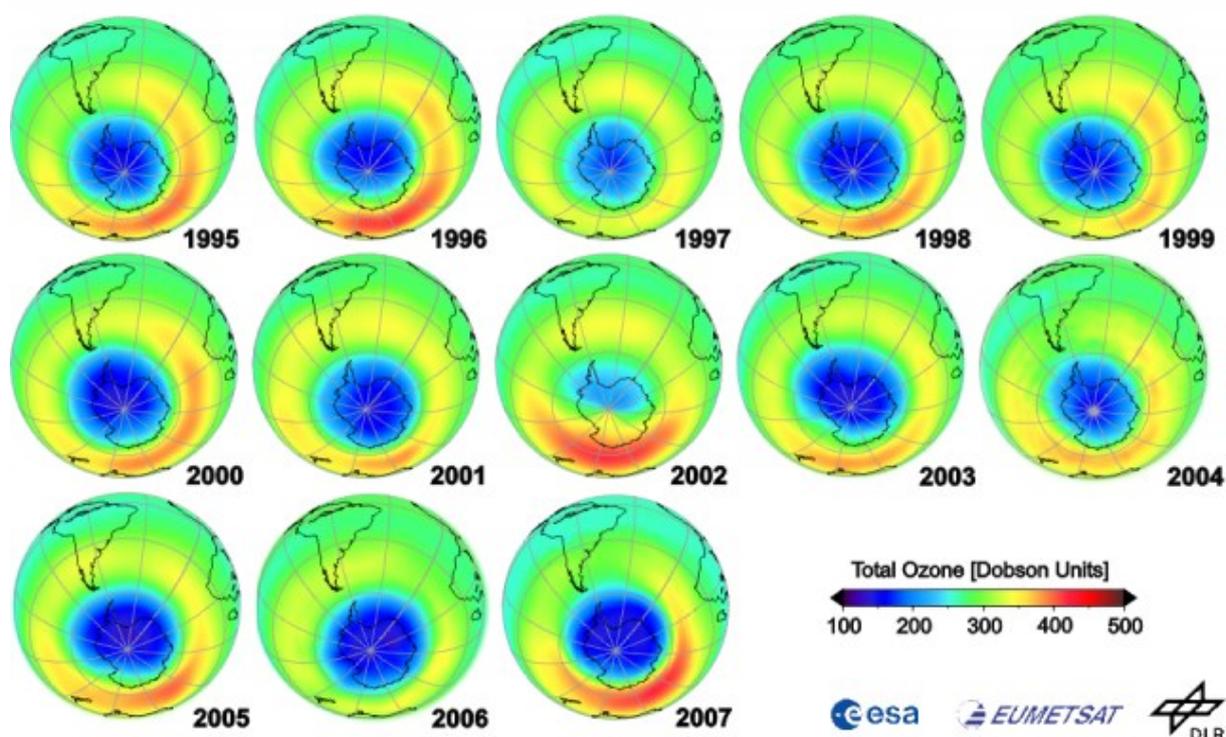
**Experiment:**

Ein Satellit zeichnet in nahezu gleichen zeitlichen Abständen die Ozonkonzentration auf. Ein Wissenschaftler untersucht gleichzeitig die Verweildauer von ausgewählten Atomen.

**Beobachtung:**

### Monitoring the Antarctic Ozone Hole by GOME, SCIAMACHY and GOME-2

Total Ozone Monthly Mean, September 1995 - 2007



(Quelle: [https://wattsupwiththat.files.wordpress.com/2011/01/ozone\\_hole\\_1995\\_2007\\_sep\\_large1.png](https://wattsupwiththat.files.wordpress.com/2011/01/ozone_hole_1995_2007_sep_large1.png))

#### Verweildauer von ausgewählten ‚Treibhausgasen‘

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	FCKW
Verweildauer in der Atmosphäre in Jahren	10	7-10	0,10	90

Versuchen Sie, mit eigenen Worten die beobachteten Satellitenbilder (siehe Abbildung) vor dem Hintergrund des Protokolls von Montreal zu interpretieren.

.....

.....

.....

.....

**Versuchen Sie, mit eigenen Worten die gemessenen Daten (siehe Tabelle) vor dem Hintergrund des Montrealer Protokolls zu interpretieren.**

.....

.....

.....

.....

**Welches Szenario erwarten Sie für die Ozonschicht in den kommenden Jahren? Begründen Sie bitte kurz ihre letzte Antwort.**

.....

.....

.....

**Nun werden Sie mit einer Reihe von Aussagen konfrontiert. Kreuzen Sie an, ob Sie diesen Aussagen zustimmen oder nicht.**

	Ja	Nein	Weiß nicht
Löcher in der Ozonschicht werden größer durch FCKWs.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Löcher in der Ozonschicht werden größer durch die Emission von Kohlendioxid.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ozon kommt außer in der Stratosphäre auch in Bodennähe vor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UV-, Licht- und IR-(Wärme)strahlen sind gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es wird wärmer durch weniger Ozon.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonnenstrahlen kommen durch Ozonlöcher zur Erde hindurch und erwärmen sie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UV-Strahlung besitzt mehr Energie als sichtbares Licht und IR-Strahlung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mehr UV-Strahlen gelangen durch die Ozonlöcher, auch sind UV-Strahlen heißer als IR- (Wärme)strahlen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aerosolsprays und Deodorants tragen durch die Zerstörung der Ozonschicht zur globalen Erwärmung bei.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ozon steuert die Erdtemperatur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ozon schützt die Erde vor saurem Regen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ozon absorbiert (filtiert) UV-Strahlung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FCKWs zerstören Ozonmoleküle in der Atmosphäre.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine Ursache der Ozonzerstörung sind Autoabgase in der Atmosphäre.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Ja	Nein	Weiß nicht
Die Verwendung einiger elektrischer Geräte im Haushalt (z.B. Kühlschrank, Klimaanlage) verursacht die Zerstörung von Ozon.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ozonabbau ist auf die Abgase und weiteren Verschmutzungen von Fabriken zurückzuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der auf einem Sonnenmittel angegebene Lichtschutzfaktor gibt an, wie stark UV-Strahlung von diesem absorbiert (gefiltert) wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn die Löcher in der Ozonschicht noch größer werden, dann wird der Treibhauseffekt noch schlimmer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Treibhauseffekt wird durch eine zu hohe Ozonkonzentration in Bodennähe verstärkt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Löcher in der Ozonschicht verstärken den Treibhauseffekt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine verringerte Anzahl von Ozonmolekülen in der Stratosphäre (ca. 22km über der Erdoberfläche) wird den durch den Treibhauseffekt verursachten Temperaturanstieg verstärken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ein Grund für die Ausdünnung bzw. Zerstörung der Ozonschicht ist der verstärkte Treibhauseffekt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Treibhauseffekt wird durch die Emission von FCKWs verschlimmert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn der Treibhauseffekt stärker wird, dann bekommen mehr Menschen Hautkrebs.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Treibhauseffekt kann durch die verstärkte Nutzung von Atomkraftwerken statt Kohlekraftwerken verringert werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Treibhauseffekt kann durch die Verwendung von bleifreiem Benzin verringert werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn es keinen Treibhauseffekt gäbe, gäbe es kein Leben auf der Erde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn der Treibhauseffekt verstärkt wird, wird es mehr Erdbeben geben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn der Treibhauseffekt verstärkt wird, werden Nutzpflanzen stärker von Käfern und Schädlingen befallen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn alle Fahrzeuge mit Katalysatoren ausgestattet wären, würde der Treibhauseffekt reduziert werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 3. Fragebogen zur Aktuellen Motivation (FAM)



Fakultät für Angewandte Informatik  
 Lehrstuhl für Didaktik der Geographie  
 Prof. Dr. Ulrike Ohl / Isabel Hörmann

#### Fragebogen

#### Naturwissenschaftliches Experimentieren im Geographieunterricht – motivationale Begleitforschung

Tragen Sie in das nachstehende Kästchen ihre Initialen und die ersten beiden Ziffern ihres Geburtsdatums sowie ihr Geschlecht und Alter ein:

(z.B. Thomas Holmes, 06.01.1999 → TH06-m-16; Lisa Müller, 12.11.2000 → LM12-w-14)

--

1. Kreuzen Sie die für Sie zutreffende Antwort an.	Trifft zu						Trifft nicht zu
	1	2	3	4	5	6	7
01. Ich mag Experimente und das Experimentieren an sich.	<input type="checkbox"/>						
02. Ich glaube, der Schwierigkeit der Experimente gewachsen zu sein.	<input type="checkbox"/>						
03. Wahrscheinlich werde ich die Experimente nicht schaffen.	<input type="checkbox"/>						
04. Bei experimentellen Aufgaben mag ich es, die Lösung auszutüfteln.	<input type="checkbox"/>						
05. Ich fühle mich unter Druck, bei Experimenten gut abschneiden zu müssen.	<input type="checkbox"/>						
06. Experimente sind eine richtige Herausforderung für mich.	<input type="checkbox"/>						
07. Nach dem Lesen der Anleitung erscheinen mir diese Experimente sehr interessant.	<input type="checkbox"/>						
08. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	<input type="checkbox"/>						
09. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich beim Experimentieren blamieren könnte.	<input type="checkbox"/>						
10. Ich bin fest entschlossen, mich bei den Experimenten voll anzustrengen.	<input type="checkbox"/>						
11. Bei Experimenten wie diesen brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	<input type="checkbox"/>						
12. Es ist mir etwas peinlich, hier beim Experimentieren zu versagen.	<input type="checkbox"/>						
13. Ich glaube, das Experiment kann jeder schaffen.	<input type="checkbox"/>						
14. Ich glaube, ich schaffe die Experimentiererei nicht.	<input type="checkbox"/>						
15. Wenn ich das Experiment schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.	<input type="checkbox"/>						
16. Wenn ich an die weiteren Experimente denke, bin ich etwas beunruhigt.	<input type="checkbox"/>						
17. Solche Experimente würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	<input type="checkbox"/>						
18. Die konkreten Leistungsanforderungen des Experiments lähmen mich.	<input type="checkbox"/>						

Vielen Dank für die Beantwortung des Fragebogens! 😊



## **5. Materialien zur Intervention 1**

### **Intervention 1**

### Experiment 1: Wir untersuchen die Eigenschaften von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung

**Ziele** Im ersten Experiment wird die Energie und Wärmewirkung von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung untersucht.

Dabei stehen Ihnen folgende Versuchsmaterialien zur Verfügung:

- eine UV-Lampe	- eine Steckdosenleiste	- eine Tischlampe
- drei Thermometer	- zwei Trennwände	- eine IR-Lampe
- Sensoren und Messgerät	- eine Stoppuhr	- ein Maßband

#### Aufgaben:

- 1) In einer Experimentieranleitung heißt es: „Stellen Sie die UV-Lampe, die Tischlampe und die IR-Lampe in einem Abstand von 30 cm nebeneinander auf den Experimentiertisch, so dass die einzelnen Lichtkegel sich nicht überschneiden. Achten Sie darauf, dass der Abstand zwischen dem jeweiligen Leuchtmittel und der Tischoberfläche 30cm beträgt. Legen Sie nun unter die jeweiligen Lampen ein Thermometer.“

Skizzieren Sie zunächst den oben beschriebenen Versuchsaufbau, ehe Sie die Anordnung dementsprechend einrichten.

Skizze:

- 2) Nun soll die thermische (Wärme-)Wirkung der einzelnen am Experiment beteiligten Lampen nachgewiesen werden. Messen Sie zunächst die Temperatur vor dem Bestrahlungsvorgang und übertragen Sie die gemessenen Werte in die nachstehende Tabelle.

Nehmen Sie nun die Stoppuhr zur Hand und bestrahlen Sie das Thermometer mit der jeweiligen Lampe (gleichzeitige Bestrahlung) drei Minuten lang. Tragen Sie anschließend die von Ihnen im Experiment gewonnenen Werte in die Tabelle ein.

	UV-Lampe	Tischlampe	IR-Lampe
Temperatur am Thermometer vor der Bestrahlung [°C]			
Temperatur am Thermometer nach der Bestrahlung [°C]			

- 3) Ermitteln Sie nun mit Hilfe des Messgerätes und dem jeweiligen Sensor die Strahlungsleistung der einzelnen Lampen. Notieren Sie die ermittelten Werte in die nachstehende Tabelle.

	UV-Lampe	Tischlampe	IR-Lampe
Strahlungsleistung [W/m <sup>2</sup> ]			

Was fällt Ihnen beim Vergleich der Temperatur- und Energiewerte der jeweiligen Strahlungsarten auf?

## **Experiment 2: Wir untersuchen die Wirkung von UV-Strahlung und erarbeiten Konzepte zum Schutz vor UV-Strahlung**

**Info:** „Im Gegensatz zur Wärmestrahlung und zum sichtbaren Licht besitzt der Mensch kein Warnsystem, das ihn bei zu starker UV-Bestrahlung rechtzeitig alarmieren könnte“ (MEFFERT 2000).

„Mehr als 1,5 Millionen Menschen waren 2012 in Deutschland an Hautkrebs erkrankt – davon 318.000 mit einem bösartigen Melanom. Die Zahl der bösartigen Neubildungen der Haut stieg damit seit 2005 um 60 Prozent. [...] Hautkrebs gehört zu den häufigsten Krebserkrankungen in Deutschland. Jedes Jahr erkranken mehr als 200.000 Menschen neu an Hautkrebs. Die gefährlichste Form ist das maligne Melanom. Es kann schnell Metastasen im Körper bilden und zum Tode führen. Der größte Risikofaktor für Hautkrebs ist die UV-Strahlung der Sonne und die von Solarien.“ (aus: *Die Welt*, [www.welt.de/politik/deutschland/article124509804/Dramatischer-Anstieg-von-Hautkrebs-Erkrankungen.html](http://www.welt.de/politik/deutschland/article124509804/Dramatischer-Anstieg-von-Hautkrebs-Erkrankungen.html), Februar 2014)

**Ziele:** In dieser Aufgabe soll experimentell ermittelt werden, welche Wirkungen UV-Strahlung auf organische Körper besitzt und wie man sich vor der energiereichsten Strahlung am besten schützen kann.

### **Aufgaben**

1) „Weisen Sie die Wirkungen von UV-Strahlung auf organische Körper selbst experimentell nach. Gleichzeitig sollen Sie möglichst genau experimentell bestimmen, wie man sich am besten vor UV-Strahlung schützen kann. Das Experiment sollte ca. 10 Minuten in Anspruch nehmen.“

Ihnen stehen folgende Materialien zur Verfügung:

- eine UV-B-Strahlungsquelle	- eine Stoppuhr	- eine Styroporplatte
- ein Messer	- ein Aufkleber bzw. Klebeband	- ein Apfel
- ein Schneidebrett	- Sonnenschutzmittel (SSM)	- UV-Schutzfolie
- Stecknadeln	- ein Glas einer Sonnenbrille	

**Planen Sie zunächst mündlich unter Verwendung der oben genannten Materialien einen Versuch, der die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen vor UV-(B)-Strahlung eindrucksvoll demonstriert, ehe Sie die Versuchsanordnung aufbauen.**

**Gehen Sie im Folgenden schriftlich knapp auf die ihrem Experiment zugrunde liegenden 6 Versuchsvarianten ein.**

2) Überlegen Sie, welche Versuchsvariante wird Ihrer Meinung nach die stärkste Veränderung mit sich bringen wird. Führen Sie nun zur Überprüfung Ihrer Vermutung den von Ihnen geplanten Versuch durch.

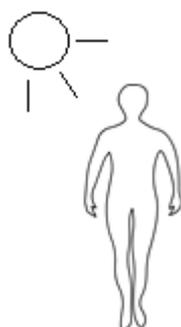
Füllen Sie auf Basis Ihrer Ergebniserwartung und der von Ihnen experimentell ermittelten Beobachtungen die nachfolgende Tabelle aus.

Verwenden Sie dabei folgende Symbolik für die Veränderung des Apfelstückchens nach der Bestrahlung:

+ starke Veränderung      o kaum Veränderung      - keine Veränderung

Zustand des ...	Vermutung Nach Bestrahlung mit UV-Licht	Ergebnisse des Experiments Nach Bestrahlung mit UV-Licht
... Apfelstückchens		
... geschälten Apfelstückchens		
... mit Klebestreifen versehenen Apfelstückchens		
... mit einem Sonnenbrillenglas verdeckten Apfelstückchens		
... mit einem Sonnenschutzmittel bestäubten Apfelstückchens		
... mit einer UV-Schutzfolie bedeckten Apfelstückchens		

3) Nennen Sie auf Grundlage des obigen Versuchs Schutzmaßnahmen vor UV-Strahlung. Die Abbildung könnte Ihnen dabei helfen.



.....

.....

.....

.....

.....

.....

### Experiment 3: Wir untersuchen die Schutzwirkung ausgewählter Materialien vor UV-Strahlung

**Ziele** In diesem Experiment wird das Absorptionsverhalten unterschiedlichster Materialien auf die UV-A, UV-B und UV-C Strahlung untersucht. Dabei können sich wichtige Hinweise auf die Verwendung von UV-absorbierenden Materialien in der Kleiderherstellung, beim Häuserbau und sonstigen Anwendungsbereichen ergeben.

#### Aufgaben

„In einer Reihe von Versuchen mit verschiedenen Materialien (z.B. Plättchen aus Fensterglas, Quarzglas) wurde überprüft, wie viel Strahlung durch das Probe-Plättchen gelangt und am Sensor auftrifft. Jeweils vor und nach der Anbringung des Probe-Plättchens wird die am jeweiligen Sensor detektierte (ankommende) Strahlung gemessen. Die gesamte Messreihe ist der nachstehenden Tabelle zu entnehmen“:

#### Intensitätsmessung in $W/m^2$

	Fensterglas	Quarzglas	Plexiglas	PVC	Leermessung (ohne Probe)
UV-A-Strahlung	8,87	9,03	2,25	0,33	9,45
UV-B-Strahlung	0,12	1,09	0	0	1,28
UV-C-Strahlung	0,05	11,92	0,06	0,05	13,47

- 1) Überprüfen Sie der obigen Tabelle zu entnehmenden Daten experimentell. Tragen Sie die von Ihnen bestimmten Messergebnisse in die nachstehende Tabelle ein.

#### Intensitätsmessung in $W/m^2$

	Fensterglas	Quarzglas	Plexiglas	PVC	Leermessung (ohne Probe)
UV-A-Strahlung					
UV-B-Strahlung					
UV-C-Strahlung					

- 2) Auf die Erde gelangen lediglich UV-A und UV-B Strahlung. Welche Materialien wären aus Ihrer Sicht für die Kleiderherstellung und den Häuserbau am besten geeignet?

**Experiment 4: Wir stellen Ozon her und überprüfen dessen UV-absorbierende Wirkung am Sensor und achten dabei auf eine Temperaturveränderung**

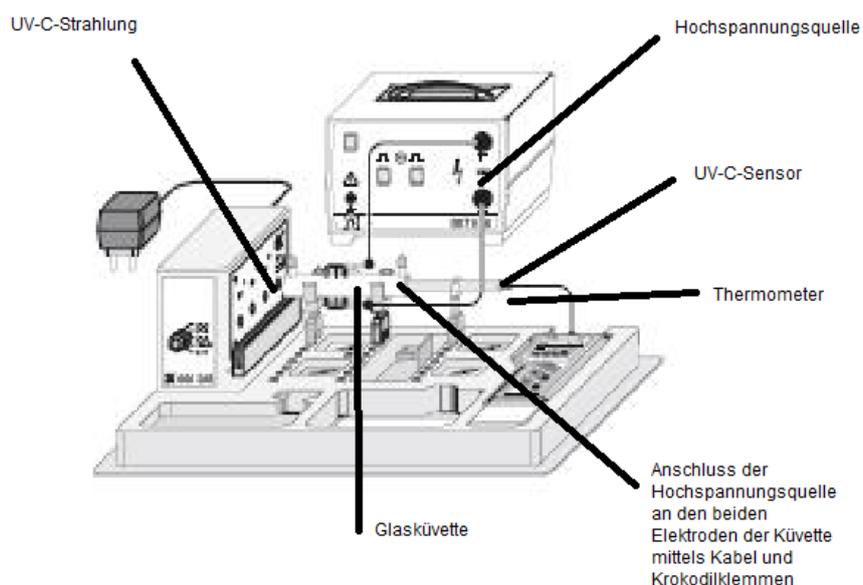
**Ziele** In dieser Aufgabe soll experimentell Ozon hergestellt werden und dessen Einfluss auf die UV-Strahlung untersucht werden. Dabei wird fortwährend bei allen Vorgängen auf eine Temperaturveränderung geachtet. Auch ist von Interesse, wie lange die Ozonherstellung dauert.

**Aufgaben**

1) Im diesem Teil der Versuchsreihe wird mit Hilfe des Experimentierkits (siehe Abbildung unten) Ozon unter Küchentischbedingungen künstlich hergestellt

Dabei soll am UV-C-Sensor untersucht werden, welche Veränderungen der detektierten Strahlung bei der Ozonherstellung erfasst werden. Auch soll unter Verwendung eines Thermometers experimentell überprüft werden, ob und wie sich die Temperatur am Sensor bei der Herstellung des Ozons verändert.

*Schauen Sie sich die unten stehende Abbildung genau an.*



Für diesen Versuch wird als Strahlungsquelle der UV-C – Bereich gewählt.

- 2) Wählen Sie am Experimentierset die UV-C-Strahlungsquelle aus und bringen Sie den dazugehörigen Sensor (einschließlich des Messgeräts) wie in der obigen Abbildung an. Bringen Sie nun zwischen der UV-C-emittierenden Strahlungsquelle und dem Sensor die mit Luft gefüllte Glasküvette ein.
- 3) Messen Sie zunächst die Temperatur in der mit Luft gefüllten Glasküvette und tragen Sie den Wert in die nachfolgende Tabelle ein.
- 4) Bevor man mit der Ozonherstellung beginnt: Notieren Sie die Daten aus der Leermessung ins Verlaufsprotokoll der nachfolgenden Tabelle.

Tragen Sie die unter 3 und 4 bestimmten Werte in die erste leere Spalte der unten stehenden Tabelle ein:

	Leermessung (Luft)	Messung mit hergestelltem Ozon
Transm. Intensität am UV-C-Sensor [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]		
Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]		

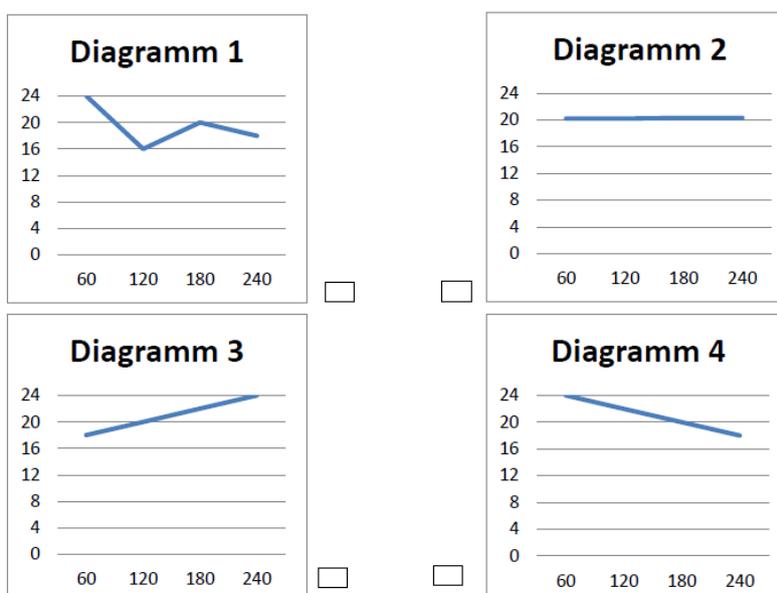
Nachdem bis jetzt dieser Versuch als Schülerexperiment durchgeführt wurde, muss der die Experimentierreihe betreuende Lehrer an dieser Stelle aus Sicherheitsgründen die weitere Durchführung des Versuchs übernehmen.

Als nächstes wird eine Hochspannungsquelle ( $U \sim 8,5 \text{ kV}$ ) an die Elektroden der Küvette angeschlossen und Hochspannung zur Ozonerzeugung eingeschaltet. Sobald sich ein Repräsentanzwert am UV-C-Sensor einpendelt, können Sie als Schülergruppe letzteren ablesen und notieren. Messen Sie dabei die Zeit, die verstreicht, um einen soliden und stabilen Wert am Sensor ablesen zu können.

5) Welche Beobachtungen würden Sie bei diesem Versuch machen?

	Ja	Nein
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit zunehmender Ozonkonzentration an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit zunehmender Ozonkonzentration gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit zunehmender Ozonkonzentration ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt bei zunehmender Ozonkonzentration zunächst zu, aber nachdem der Repräsentanzwert erreicht wird, wieder ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6) Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während der Ozonherstellung an, den Sie erwarten würden?



7) Ergänzen Sie nun die zweite Spalte der Tabelle um den aus dem Experiment gewonnenen Wert im Hinblick auf die am Sensor aufkommende Intensität der UV-C-Strahlung und auf die nun in der ozonangereicherten Glasküvette vorherrschende Temperatur.



**Experiment 5: Wir zerstören Ozon durch Dichlormethan und simulieren somit das Ozonloch. Dabei ermitteln wir die Auswirkungen des Ozonabbaus auf die UV-Strahlung und achten auf eine Temperaturveränderung**

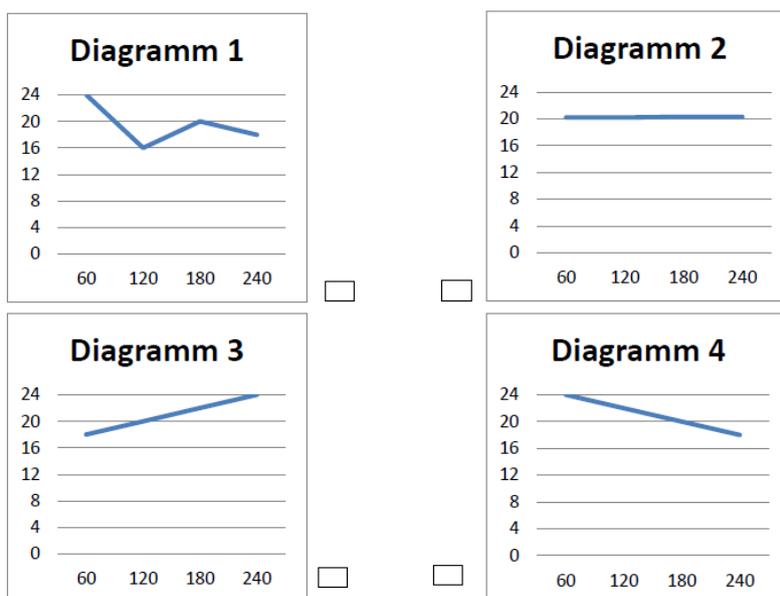
**Ziele** Ziel des Versuchs ist die Demonstration des Ozonabbaus durch Halogene aus den FCKWs. In der entwickelten Experimentierreihe findet Dichlormethan als Halogenersatz aus den FCKWs Verwendung. Dabei untersuchen wir den Temperaturverlauf.

Folgende Versuchsmaterialien stehen zur Verfügung:

- |   |   |
|---|---|
| - Handschuhe                              | - Mundschutz                            |
| - 2 ml Dichlormethan                      | - UV-C-Sensor, einschließlich Messgerät |
| - eine Spritze                            | - ein Thermometer                       |
| - eine Stoppuhr                           | - eine UV-C-Strahlungsquelle            |
| - eine mit Ozon angereicherte Glasküvette |   |

**Aufgaben**

- 1) **Beschreiben Sie bitte ihre geplante Experimentdurchführung mündlich.**
- 2) **Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während des Ozonabbaus an, den Sie erwarten würden?**



- 3) **Welche Beobachtungen würden Sie bei diesem Versuch erwarten?**

	Ja	Nein
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit abnehmender Ozonkonzentration an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit abnehmender Ozonkonzentration gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit abnehmender Ozonkonzentration ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Geben Sie nun unter Verwendung der Spritze etwas Dichlormethan (V~ 2ml) in die mit Ozon angereicherte Glasküvette.

Dabei muss ein Gummiaufsatz auf der Oberseite des Glasgefäßes entfernt werden, welcher – nachdem sich das Dichlormethan in der Glasküvette verteilt hat – wieder angebracht wird.

- 4) Schalten Sie erneut die UV-C-Lampe an und bestimmen Sie nun die auftreffende Strahlung am UV-C-Sensor hinter der Glasküvette sowie die Temperaturveränderung. **Bestimmen Sie überdies die Zeit, bis sich ein Repräsentanzwert bei der Ozonzerstörung einstellt.**
- 5) Ergänzen Sie zunächst die Ergebnisse von **Experiment 4** in die ersten beiden leeren Spalten der Tabelle. Tragen Sie nun das Ergebnis der Messung aus Aufgabe 5 in die letzte Spalte der nachfolgenden Tabelle ein:

	Leermessung (Luft)	Messung mit hergestelltem Ozon	Messung mit Ozon und Dichlormethan
Transm. Intensität am UV-C-Sensor [W/m <sup>2</sup> ]			
Temperatur [°C]			

- 6) Welche Veränderung ist durch die Zerstörung des Ozons durch Dichlormethan in der Glasküvette im Hinblick auf die am Sensor auftreffende UV-C-Strahlung und am Thermometer abzulesende Temperatur zu erkennen?

Anschließend schaltet der betreuende Lehrer die Hochspannung wieder ein und hält nach einer Weile den sich eingependelten Wert der Intensitätsmessung in der Einheit [W/m<sup>2</sup>] fest.

- 7) Dauert die Ozon-Herstellung oder die Ozon-Zerstörung länger? Vergleichen Sie die beiden von Ihnen festgehaltenen Messwerte.

- 8) Erläutern Sie, welche Auswirkungen z.B. die Verteilung von in FCKWs in der Ozonschicht für die aktuelle und künftige Situation besitzt. Dabei dürfen Sie sich auf die nachfolgende Tabelle beziehen.

#### Verweildauer von ausgewählten ‚Treibhausgasen‘

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	FCKW
Verweildauer in der Atmosphäre in Jahren	10	7-10	0,10	90

## 6. Materialien zur Intervention 2

### Intervention 2

### Experiment 1: Wir untersuchen die thermischen Eigenschaften von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung

**Ziele** Im ersten Experiment wird die Wärmewirkung von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung untersucht.

Dabei stehen Ihnen folgende Versuchsmaterialien zur Verfügung:

- eine UV-Lampe	- eine Steckdosenleiste	- eine Tischlampe
- drei Thermometer	- zwei Trennwände	- eine IR-Lampe
- drei Stoppuhren (Smartphone)	- ein Maßband	

#### Aufgaben:

- 1) In einer Experimentieranleitung heißt es: „Stellen Sie die UV-Lampe, die Tischlampe und die IR-Lampe in einem Abstand von 30 cm nebeneinander auf den Experimentiertisch, so dass die einzelnen Lichtkegel sich nicht überschneiden. Achten Sie darauf, dass der Abstand zwischen dem jeweiligen Leuchtmittel und der Tischoberfläche 20cm beträgt. Legen Sie nun unter die jeweiligen Lampen ein Thermometer.“

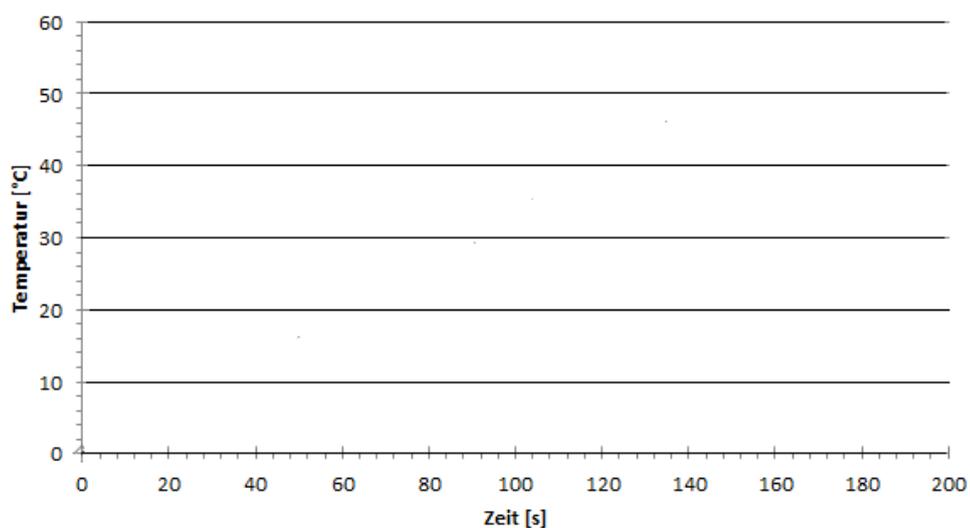
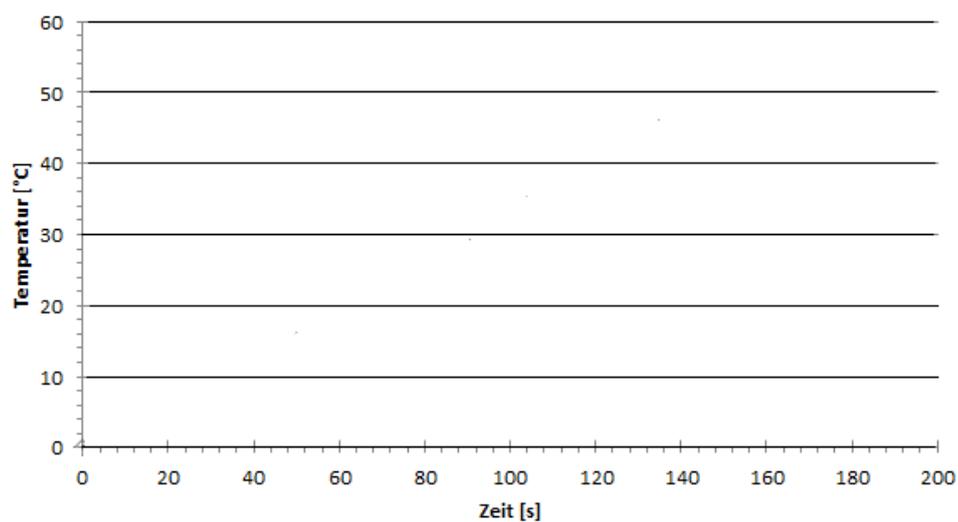
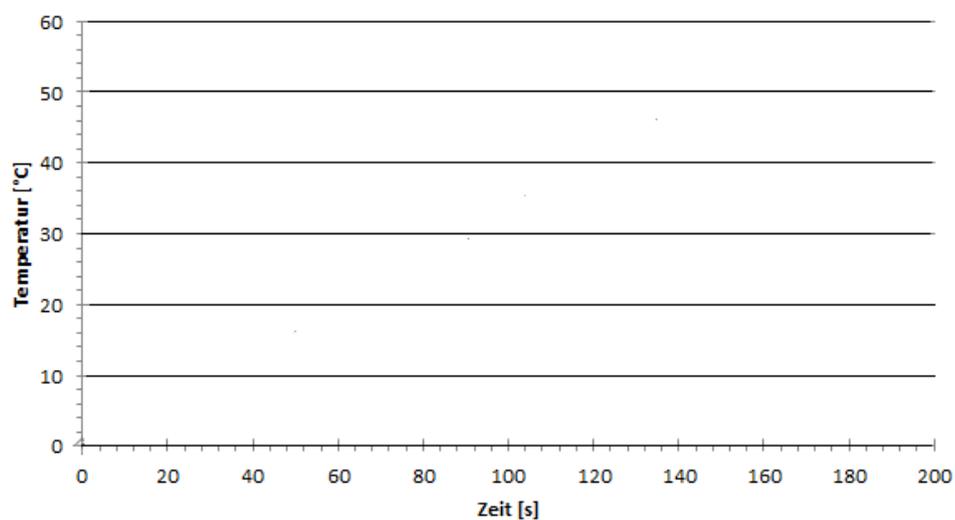
Skizzieren Sie zunächst den oben beschriebenen Versuchsaufbau, ehe Sie die Anordnung dementsprechend einrichten.

Skizze:

- 2) a) Nun soll die thermische (Wärme-)Wirkung der einzelnen am Experiment beteiligten Lampen nachgewiesen werden. Messen Sie zunächst die Temperatur vor dem Bestrahlungsvorgang und übertragen Sie die gemessenen Werte in die erste Zeile der unten stehenden Tabelle.
- b) Nehmen Sie nun die Stoppuhr (bzw. ihr Smartphone) zur Hand und bestrahlen Sie das Thermometer mit der jeweiligen Lampe (gleichzeitige Bestrahlung) drei Minuten lang. Tragen Sie dabei alle 20 Sekunden den aktuellen Temperaturwert in das t-T-Diagramm (siehe Seite 2) ein.
- c) Tragen Sie anschließend die von Ihnen im Experiment gewonnene Temperatur nach dreiminütiger Bestrahlung durch die jeweilige Lampe in die letzte Zeile der Tabelle ein.

	UV-Lampe	Tischlampe	IR-Lampe
Temperatur am Thermometer vor der Bestrahlung [°C]			
Temperatur am Thermometer nach der Bestrahlung [°C]			

- 3) Was fällt Ihnen beim Vergleich der drei Zeit-Temperatur-Diagramme für die jeweiligen Strahlungsarten auf?

**t-T-Diagramme [UV-Lampe]****t-T-Diagramme [Tischlampe]****t-T-Diagramme [IR-Lampe]**

## **Experiment 2: Wir untersuchen die Wirkung von UV-Strahlung und erarbeiten Konzepte zum Schutz vor UV-Strahlung**

**Info:** „Im Gegensatz zur Wärmestrahlung und zum sichtbaren Licht besitzt der Mensch kein Warnsystem, das ihn bei zu starker UV-Bestrahlung rechtzeitig alarmieren könnte“ (MEFFERT 2000).

„Mehr als 1,5 Millionen Menschen waren 2012 in Deutschland an Hautkrebs erkrankt – davon 318.000 mit einem bösartigen Melanom. Die Zahl der bösartigen Neubildungen der Haut stieg damit seit 2005 um 60 Prozent. [...] Hautkrebs gehört zu den häufigsten Krebserkrankungen in Deutschland. Jedes Jahr erkranken mehr als 200.000 Menschen neu an Hautkrebs. Die gefährlichste Form ist das maligne Melanom. Es kann schnell Metastasen im Körper bilden und zum Tode führen. Der größte Risikofaktor für Hautkrebs ist die UV-Strahlung der Sonne und die von Solarien“ (aus: *Die Welt*, [www.welt.de/politik/deutschland/article124509804/Dramatischer-Anstieg-von-Hautkrebs-Erkrankungen.html](http://www.welt.de/politik/deutschland/article124509804/Dramatischer-Anstieg-von-Hautkrebs-Erkrankungen.html), Februar 2014).

**Ziele:** In dieser Aufgabe soll experimentell ermittelt werden, welche Wirkungen UV-Strahlung auf organische Körper besitzt und wie man sich vor der energiereichen Strahlung am besten schützen kann.

### **Aufgaben**

1) „Weisen Sie die Wirkungen von UV-Strahlung auf organische Körper selbst experimentell nach. Gleichzeitig sollen Sie möglichst genau experimentell bestimmen, wie man sich am besten vor UV-Strahlung schützen kann. Das Experiment sollte ca. 10 Minuten in Anspruch nehmen.“

Ihnen stehen folgende Materialien zur Verfügung:

- eine UV-B-Strahlungsquelle	- eine Stoppuhr	- eine Styroporplatte
- ein Messer	- ein Aufkleber bzw. Klebeband	- ein Apfel und Blätter
- ein Schneidebrett	- Sonnenschutzmittel (geringer LSF)	- UV-Schutzfolie
- Stecknadeln	- ein Glas einer Sonnenbrille	- Kunststoffdeckel
- Stoffe (div. Textilien)	- weiches, unbehandeltes Leder	- Sonnenschutzmittel (hoher LSF)

**Planen Sie zunächst mündlich unter Verwendung der oben genannten Materialien einen Versuch, der die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen vor UV-(B)-Strahlung eindrucksvoll demonstriert, ehe Sie die Versuchsanordnung aufbauen.**

**Gehen Sie im Folgenden schriftlich knapp auf die ihrem Experiment zugrunde liegenden 9 Versuchsvarianten ein.**

2) Überlegen Sie, welche Versuchsvariante Ihrer Meinung nach die stärkste Veränderung mit sich bringen wird. Füllen Sie auf Basis Ihrer Ergebniserwartung die nachfolgende Tabelle aus.

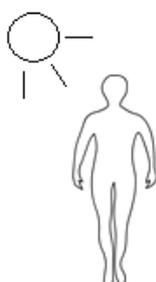
Verwenden Sie dabei folgende Symbolik für die Veränderung des Apfelstückchens nach der Bestrahlung:

+ starke Veränderung	o kaum Veränderung	- keine Veränderung
----------------------	--------------------	---------------------

Zustand des ...	Vermutung		Ergebnisse des Experiments	
	Nach Bestrahlung mit UV-Licht		Nach Bestrahlung mit UV-Licht	
... unbehandelten Apfelstückchens/Blattes				
... Apfelstückchens/Blattes mit Sonnenschutzmittel mit niedrigem Lichtschutzfaktor				
... Apfelstückchens/Blattes mit Sonnenschutzmittel mit hohem Lichtschutzfaktor				
... mit Klebestreifen versehenen Apfelstückchens/Blattes				
... mit einem Sonnenbrillenglas verdeckten Apfelstückchens/Blattes				
... weichen, unbehandelten Leders				
... mit einer UV-Schutzfolie bedeckten Apfelstückchens/Blattes				
... mit Textilien bedeckten Apfelstückchens/Blattes				
... mit einem Kunststoffdeckel bedeckten Blattes				

Führen Sie nun zur Überprüfung Ihrer Vermutung den von Ihnen geplanten Versuch durch. Bestrahlen Sie die von Ihnen konzipierte Versuchsanordnung 20 Minuten lang mit der UV-B-Strahlung. Fotografieren Sie dabei während des Bestrahlungsvorgangs die Experimentieranordnung alle 5 Minuten mit Ihrem Smartphone. Ergänzen Sie die oben stehende Tabelle mit den tatsächlichen experimentell gewonnenen Ergebnissen.

3) Nennen Sie auf Grundlage des obigen Versuchs Schutzmaßnahmen vor UV-Strahlung. Die Abbildung könnte Ihnen dabei helfen.



.....

.....

.....

.....

.....

.....

4) Betrachten Sie die Experimentieranordnung in gut 60 Minuten nach der 20-minütigen Bestrahlung. Was fällt Ihnen dabei auf?

### Experiment 3: Wir untersuchen die Schutzwirkung ausgewählter Materialien vor UV-Strahlung

**Ziele** In diesem Experiment wird das Absorptionsverhalten unterschiedlichster Materialien auf die UV-A, UV-B und UV-C Strahlung untersucht. Dabei können sich wichtige Hinweise auf die Verwendung von UV-absorbierenden Materialien in der Kleiderherstellung, beim Häuserbau und sonstigen Anwendungsbereichen ergeben.

#### Aufgaben

„In einer Reihe von Versuchen mit verschiedenen Materialien (z.B. Plättchen aus Fensterglas, Quarzglas) wurde überprüft, wie viel Strahlung durch das Probe-Plättchen gelangt und am Sensor auftrifft. Jeweils vor und nach der Anbringung des Probe-Plättchens wird die am jeweiligen Sensor detektierte (ankommende) Strahlung gemessen. Die gesamte Messreihe ist der nachstehenden Tabelle zu entnehmen“:

#### Intensitätsmessung in $W/m^2$

	Fensterglas	Quarzglas	Plexiglas	PVC	Leermessung (ohne Probe)
UV-A-Strahlung	8,87	9,03	2,25	0,33	9,45
UV-B-Strahlung	0,12	1,09	0	0	1,28
UV-C-Strahlung	0,05	11,92	0,06	0,05	13,47

1) Überprüfen Sie der obigen Tabelle zu entnehmenden Daten experimentell.

Finden Sie dabei heraus, welche der vier Ihnen zur Verfügung stehenden Plättchen dem Fensterglas, dem Quarzglas, dem Plexiglas sowie dem PVC-Plättchen entspricht.

Tragen Sie die von Ihnen bestimmten Messergebnisse in die nachstehende Tabelle ein.

#### Intensitätsmessung in $W/m^2$

	Fensterglas	Quarzglas	Plexiglas	PVC	Leermessung (ohne Probe)
UV-A-Strahlung					
UV-B-Strahlung					
UV-C-Strahlung					

2) Auf die Erde gelangen lediglich UV-A und UV-B Strahlung. Welche Materialien wären aus Ihrer Sicht für die Kleiderherstellung und den Häuserbau am besten geeignet?

3) Verwenden Sie nun den UV-B-Strahlungsbereich. Untersuchen Sie die absorbierende Wirkung von Sonnenschutzmittel, welches auf einem Quarzglasplättchen aufgetragen wurde. Vergleichen Sie die beiden Werte.

	Quarzglas	Quarzglas mit Sonnenschutzmittel
UV-B-Strahlung [ $W/m^2$ ]		

**Experiment 4: Wir stellen Ozon her und überprüfen dessen UV-absorbierende Wirkung am Sensor und achten dabei auf eine Temperaturveränderung**

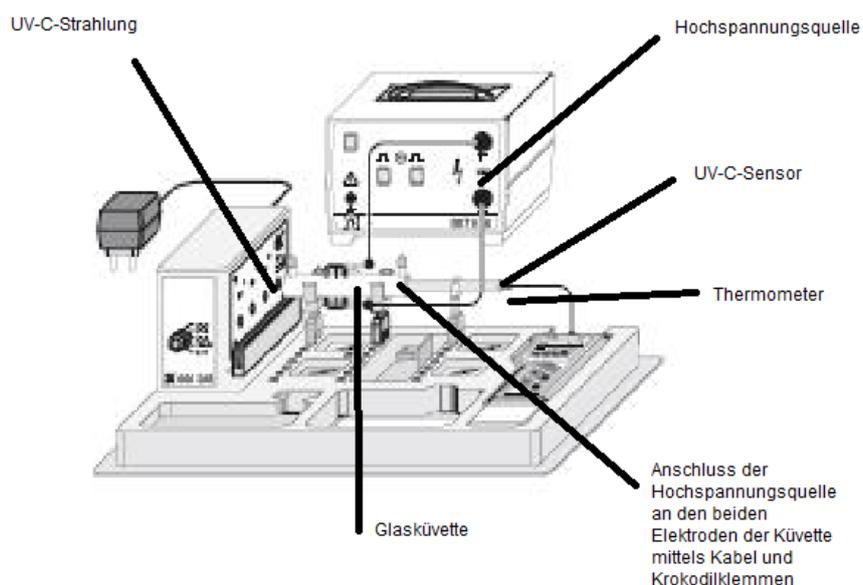
**Ziele** In dieser Aufgabe soll experimentell Ozon hergestellt werden und dessen Einfluss auf die UV-Strahlung untersucht werden. Dabei wird fortwährend bei allen Vorgängen auf eine Temperaturveränderung geachtet. Auch ist von Interesse, wie lange die Ozonherstellung dauert.

**Aufgaben**

1) Im diesem Teil der Versuchsreihe wird mit Hilfe des Experimentierkits (siehe Abbildung unten) Ozon unter Küchentischbedingungen künstlich hergestellt

Dabei soll am UV-C-Sensor untersucht werden, welche Veränderungen der detektierten Strahlung bei der Ozonherstellung erfasst werden. Auch soll unter Verwendung eines Thermometers experimentell überprüft werden, ob und wie sich die Temperatur am Sensor bei der Herstellung des Ozons verändert.

*Schauen Sie sich die unten stehende Abbildung genau an.*



Für diesen Versuch wird als Strahlungsquelle der UV-C – Bereich gewählt.

- 2) Wählen Sie am Experimentierset die UV-C-Strahlungsquelle aus und bringen Sie den dazugehörigen Sensor (einschließlich des Messgeräts) wie in der obigen Abbildung an. Bringen Sie nun zwischen der UV-C-emittierenden Strahlungsquelle und dem Sensor die mit Luft gefüllte Glasküvette ein.
- 3) Messen Sie zunächst die Temperatur in der mit Luft gefüllten Glasküvette und tragen Sie den Wert in die nachfolgende Tabelle ein.
- 4) Bevor man mit der Ozonherstellung beginnt: Notieren Sie die Daten aus der Leermessung ins Verlaufsprotokoll der nachfolgenden Tabelle.

Tragen Sie die unter 3 und 4 bestimmten Werte in die erste leere Spalte der unten stehenden Tabelle ein:

	Leermessung (Luft)	Messung mit hergestelltem Ozon
Transm. Intensität am UV-C-Sensor [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]		
Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]		

Nachdem bis jetzt dieser Versuch als Schülerexperiment durchgeführt wurde, muss der die Experimentierreihe betreuende Lehrer an dieser Stelle aus Sicherheitsgründen die weitere Durchführung des Versuchs übernehmen.

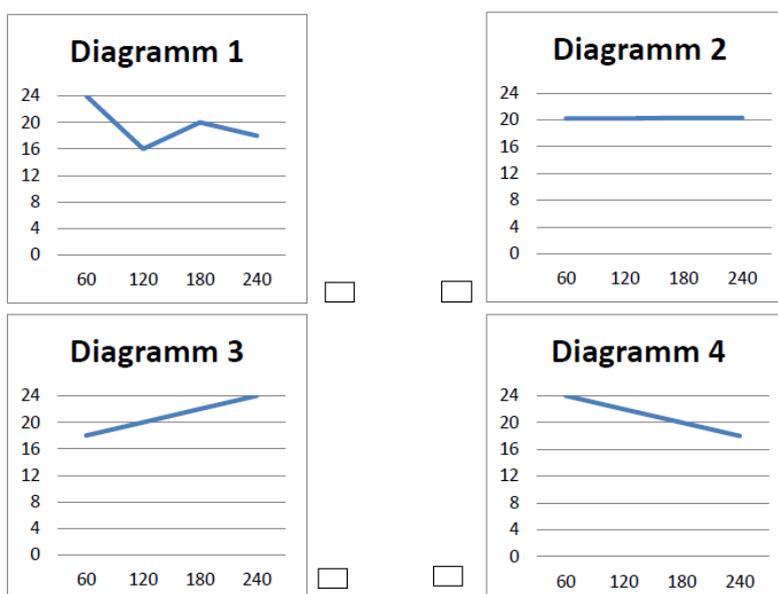
Dabei bringt die Lehrkraft sowohl ein Thermometer in der Glasküvette ein als auch den UV-C-Sensor sicher am Gegeneinde der Glasküvette an, so dass sämtliche Veränderungen der beiden relevanten Größen (Temperatur und UV-C-Strahlung) für die Schülergruppe gut ablesbar sind.

Bevor als nächstes eine Hochspannungsquelle ( $U \sim 8,5 \text{ kV}$ ) an die Elektroden der Küvette zum Zwecke der Ozonerzeugung angeschlossen und eingeschaltet wird, bearbeiten Sie bitte die Aufgaben 5 und 6.

5) Welche Beobachtungen würden Sie bei diesem Versuch erwarten?

	Ja	Nein
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit zunehmender Ozonkonzentration an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit zunehmender Ozonkonzentration gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit zunehmender Ozonkonzentration ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt bei zunehmender Ozonkonzentration zunächst zu, aber nachdem der Repräsentanzwert erreicht wird, wieder ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6) Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während der Ozonherstellung an, den Sie erwarten würden?

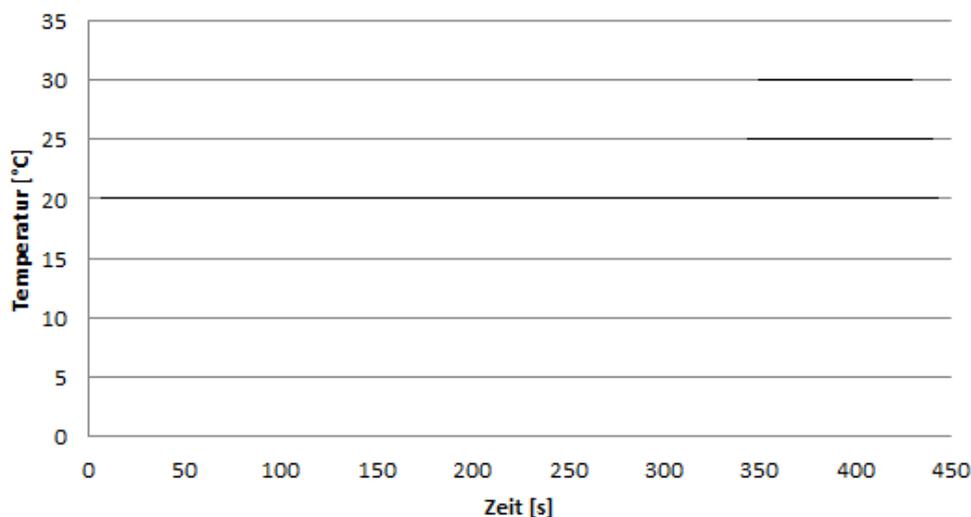


7) Während der Ozonherstellung notieren Sie bitte alle 15 Sekunden sowohl die in der Glasküvette vorherrschende Temperatur als auch die am UV-C-Sensor ankommende Strahlung in die beiden unten stehenden Diagramme.

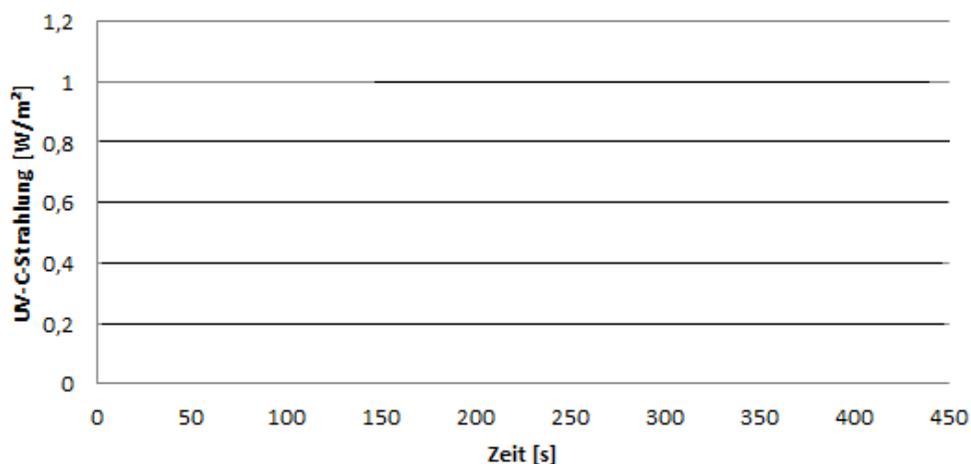
Sobald sich ein Repräsentanzwert am UV-C-Sensor einpendelt, können Sie davon ausgehen, dass die Glasküvette maximal mit Ozon angereichert ist.

Achten Sie dabei auf die Zeit, die verstreicht, um einen soliden und stabilen Wert am UV-C-Sensor ablesen zu können.

### Temperaturverlauf bei der Ozonherstellung



### Detektierte UV-C-Strahlung bei der Ozonherstellung



8) Ergänzen Sie nun die zweite Spalte der Tabelle um den aus dem Experiment gewonnenen Wert im Hinblick auf die am Sensor auftretende Intensität der UV-C-Strahlung und auf die nun in der ozonangereicherten Glasküvette vorherrschende Temperatur.

Welche Veränderung ist durch die Herstellung des Ozons in der Glasküvette im Hinblick auf die am Sensor auftretende UV-C-Strahlung und am Thermometer abzulesende Temperatur zu erkennen? Welche Aussagen können Sie die über die Dauer treffen, die für die Ozonherstellung benötigt wurde?

**Experiment 5: Wir zerstören Ozon durch Dichlormethan und simulieren somit das Ozonloch. Dabei ermitteln wir die Auswirkungen des Ozonabbaus auf die UV-Strahlung und achten auf eine Temperaturveränderung**

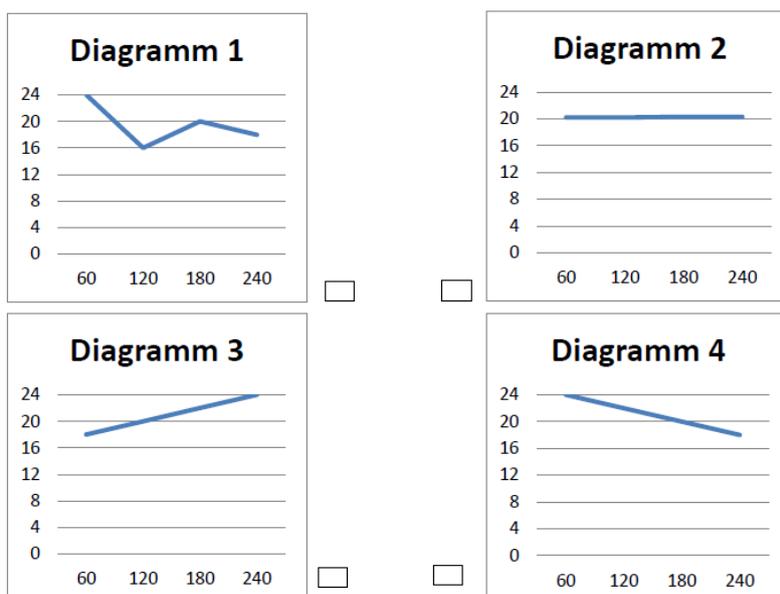
**Ziele** Ziel des Versuchs ist die Demonstration des Ozonabbaus durch Halogene aus den FCKWs. In der entwickelten Experimentierreihe findet Dichlormethan als Halogenersatz aus den FCKWs Verwendung. Dabei untersuchen wir den Temperaturverlauf.

Folgende Versuchsmaterialien stehen zur Verfügung:

- |   |   |
|---|---|
| - Handschuhe                              | - Mundschutz                            |
| - 2 ml Dichlormethan                      | - UV-C-Sensor, einschließlich Messgerät |
| - eine Spritze                            | - ein Thermometer                       |
| - eine Stoppuhr                           | - eine UV-C-Strahlungsquelle            |
| - eine mit Ozon angereicherte Glasküvette |   |

**Aufgaben**

- 1) **Beschreiben Sie bitte ihre geplante Experimentdurchführung mündlich.**
- 2) **Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während des Ozonabbaus an, den Sie erwarten würden?**



- 3) **Welche Beobachtungen würden Sie bei diesem Versuch erwarten?**

	Ja	Nein
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit abnehmender Ozonkonzentration an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit abnehmender Ozonkonzentration gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit abnehmender Ozonkonzentration ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

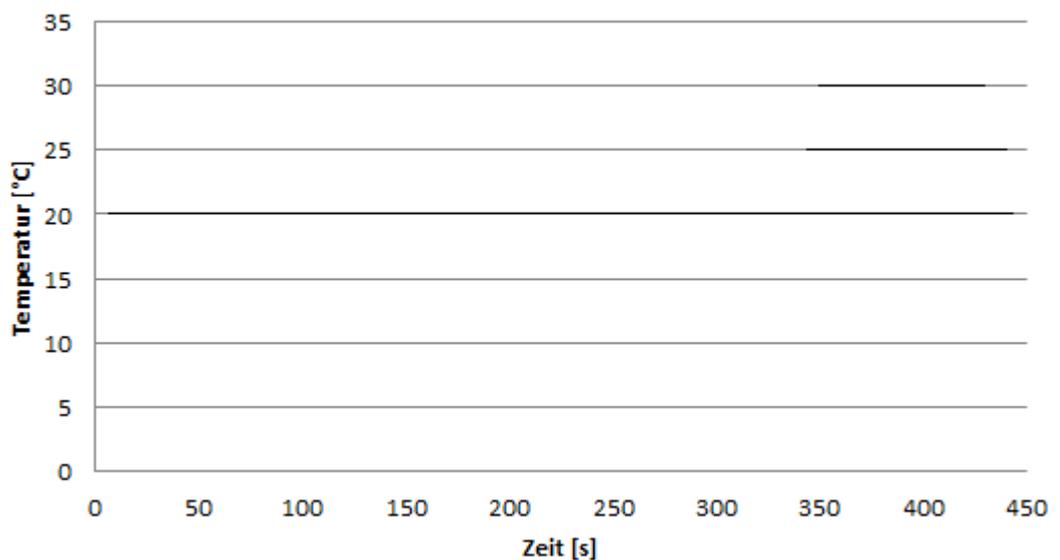
Ziehen Sie sich nun Mundschutz und Handschuhe über und geben Sie nun unter Verwendung der Spritze etwas Dichlormethan (V~ 2ml) in die mit Ozon angereicherte Glasküvette.

Dabei muss ein Gummiaufsatz auf der Oberseite des Glasgefäßes entfernt werden, welcher – nachdem sich das Dichlormethan in der Glasküvette verteilt hat – wieder angebracht wird.

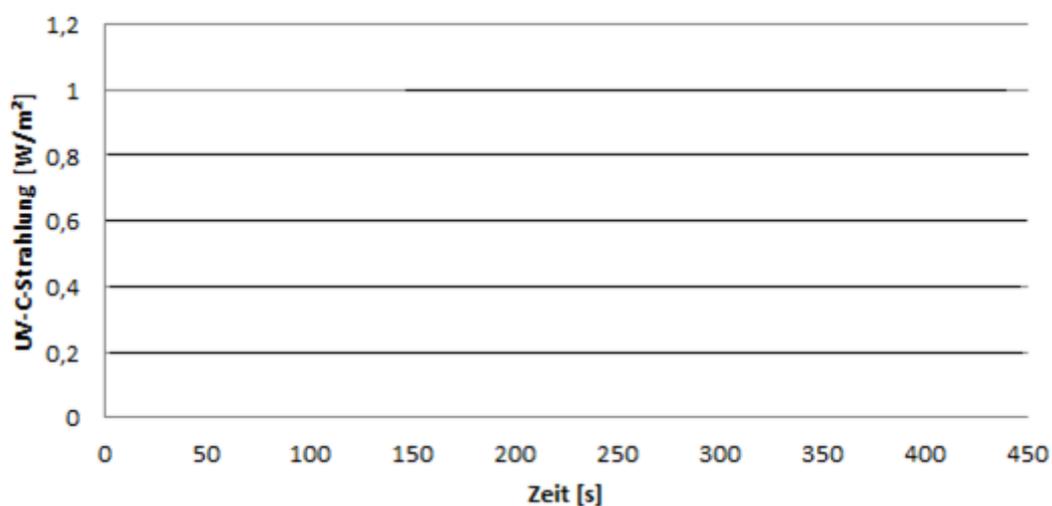
- 4) Schalten Sie erneut die UV-C-Lampe an und bestimmen Sie nun die auftreffende Strahlung am UV-C-Sensor hinter der Glasküvette sowie die Temperaturveränderung. Tragen Sie dabei sowohl den zeitlichen Verlauf der Temperatur (innerhalb der Glasküvette) sowie der detektierten UV-C-Strahlung alle 15 Sekunden in die beiden nachstehenden Diagramme ein.

**Bestimmen Sie überdies die Zeit, bis sich ein Repräsentanzwert bei der Ozonzerstörung einstellt.**

### Temperaturverlauf bei der Ozonzerstörung



### Detektierte UV-C-Strahlung bei der Ozonzerstörung



- 5) Ergänzen Sie zunächst die Ergebnisse von **Experiment 4** in die ersten beiden leeren Spalten der Tabelle. Tragen Sie nun das Ergebnis der Messung aus Aufgabe 5 in die letzte Spalte der nachfolgenden Tabelle ein:

	Leermessung (Luft)	Messung mit hergestelltem Ozon	Messung mit Ozon und Dichlormethan
Transm. Intensität am UV-C-Sensor [ $\text{W/m}^2$ ]			
Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]			

- 6) Welche Veränderung ist durch die Zerstörung des Ozons durch Dichlormethan in der Glasküvette im Hinblick auf die am Sensor auftreffende UV-C-Strahlung und am Thermometer abzulesende Temperatur zu erkennen?

Anschließend schaltet der betreuende Lehrer die Hochspannung wieder ein und hält nach einer Weile den sich eingependelten Wert der Intensitätsmessung in der Einheit [ $\text{W/m}^2$ ] fest.

- 7) Dauert die Ozon-Herstellung oder die Ozon-Zerstörung länger? Vergleichen Sie die beiden von Ihnen festgehaltenen Messwerte.

.....

- 8) Erläutern Sie, welche Auswirkungen z.B. die Verteilung von in FCKWs in der Ozonschicht für die aktuelle und künftige Situation besitzt. Dabei dürfen Sie sich auf die nachfolgende Tabelle beziehen.

#### Verweildauer von ausgewählten ‚Treibhausgasen‘

	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{N}_2\text{O}$	FCKW
Verweildauer in der Atmosphäre in Jahren	10	7-10	0,10	90

## **7. Materialien zur Intervention 3**

### **Intervention 3**

## Experiment 1: Wir untersuchen die thermischen Eigenschaften von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung

**Ziele** Im ersten Experiment wird die Wärmewirkung von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung untersucht.

Dabei stehen Ihnen folgende Versuchsmaterialien zur Verfügung:

- eine UV-Lampe	- eine Steckdosenleiste	- eine Tischlampe
- drei Thermometer	- zwei Trennwände	- eine IR-Lampe
- drei Stoppuhren (Smartphones)	- ein Maßband	

### Aufgaben:

- 1) In einer Experimentieranleitung heißt es: „Stellen Sie die UV-Lampe, die Tischlampe und die IR-Lampe in einem Abstand von 30 cm nebeneinander auf den Experimentiertisch, so dass die einzelnen Lichtkegel sich nicht überschneiden. Achten Sie darauf, dass der Abstand zwischen dem jeweiligen Leuchtmittel und der Tischoberfläche 20cm beträgt. Legen Sie nun unter die jeweiligen Lampen ein Thermometer.“

Skizzieren Sie zunächst den oben beschriebenen Versuchsaufbau, ehe Sie die Anordnung dementsprechend einrichten.

Skizze:

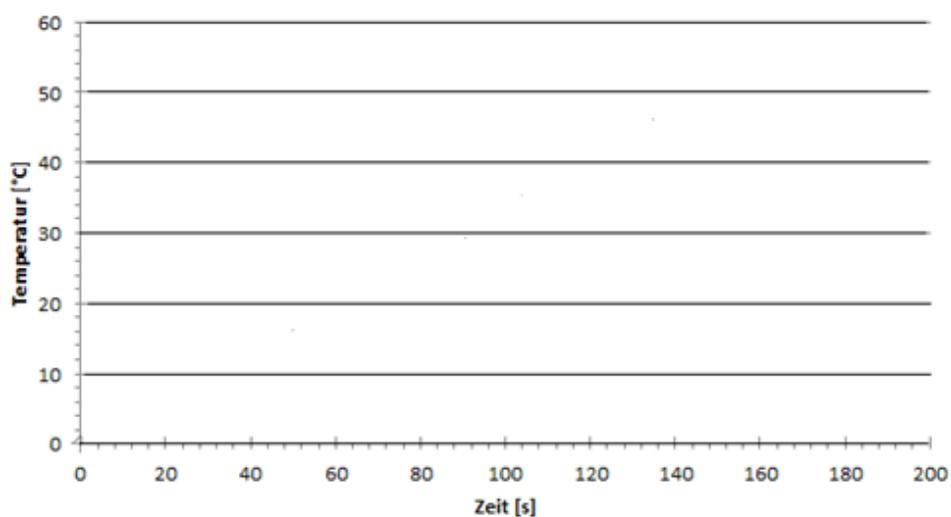
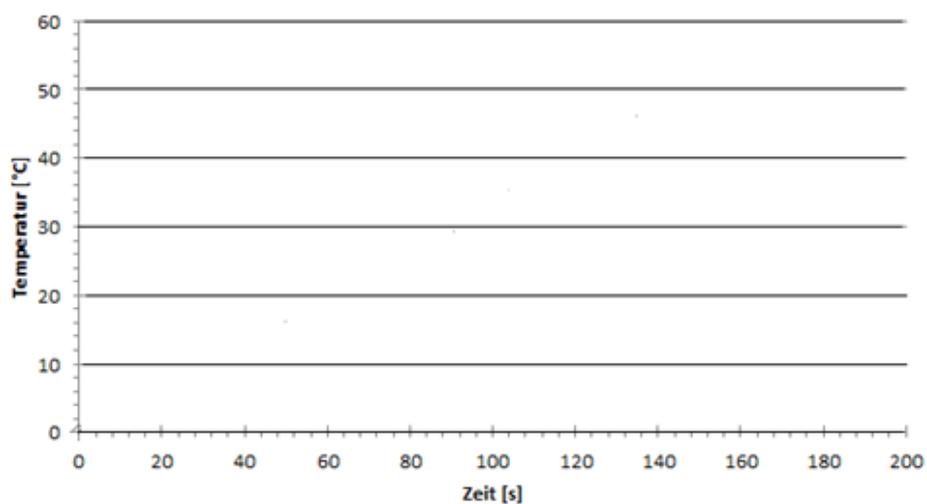
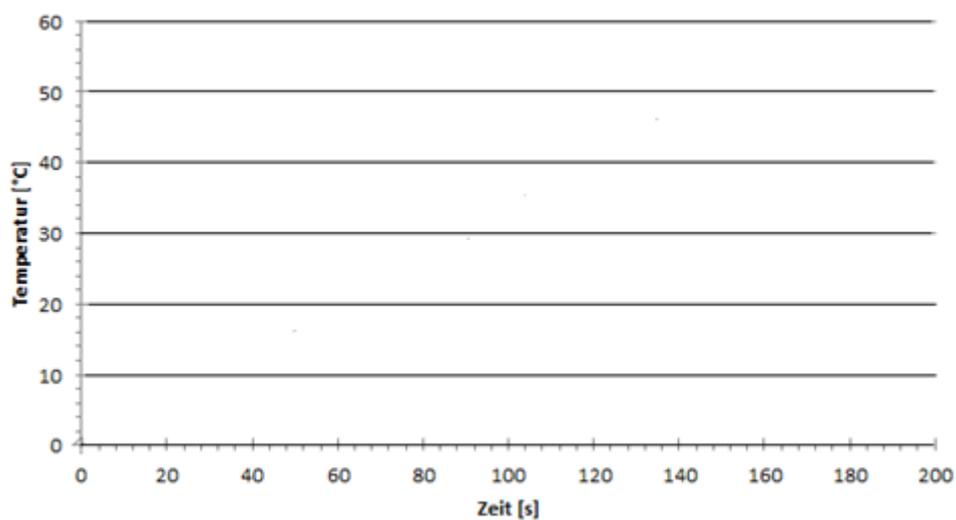
- 2 a) Nun soll die thermische (Wärme-)Wirkung der einzelnen am Experiment beteiligten Lampen nachgewiesen werden. Messen Sie zunächst die Temperatur vor dem Bestrahlungsvorgang und übertragen Sie die gemessenen Werte in die erste Zeile der unten stehenden Tabelle.

b) Nehmen Sie nun die Stoppuhr (bzw. Ihr Smartphone) zur Hand und bestrahlen Sie das Thermometer mit der jeweiligen Lampe (gleichzeitige Bestrahlung) drei Minuten lang. Tragen Sie dabei alle 20 Sekunden den aktuellen Temperaturwert in das t-T-Diagramm (siehe Seite 2) ein.

c) Tragen Sie anschließend die von Ihnen im Experiment gewonnene Temperatur nach dreiminütiger Bestrahlung durch die jeweilige Lampe in die letzte Zeile der Tabelle ein.

	UV-Lampe	Tischlampe	IR-Lampe
Temperatur am Thermometer <u>vor</u> der Bestrahlung [°C]			
Temperatur am Thermometer <u>nach</u> der Bestrahlung [°C]			

- 3) Was fällt Ihnen beim Vergleich der drei Zeit-Temperatur-Diagramme für die jeweiligen Strahlungsarten auf?

**t-T-Diagramm [UV-Lampe]****t-T-Diagramm [Tischlampe]****t-T-Diagramm [IR-Lampe]**

## **Experiment 2: Wir untersuchen die Wirkung von UV-Strahlung und erarbeiten Konzepte zum Schutz vor UV-Strahlung**

**Info:** „Im Gegensatz zur Wärmestrahlung und zum sichtbaren Licht besitzt der Mensch kein Warnsystem, das ihn bei zu starker UV-Bestrahlung rechtzeitig alarmieren könnte“ (MEFFERT 2000).

„Mehr als 1,5 Millionen Menschen waren 2012 in Deutschland an Hautkrebs erkrankt – davon 318.000 mit einem bösartigen Melanom. Die Zahl der bösartigen Neubildungen der Haut stieg damit seit 2005 um 60 Prozent. [...] Hautkrebs gehört zu den häufigsten Krebserkrankungen in Deutschland. Jedes Jahr erkranken mehr als 200.000 Menschen neu an Hautkrebs. Die gefährlichste Form ist das maligne Melanom. Es kann schnell Metastasen im Körper bilden und zum Tode führen. Der größte Risikofaktor für Hautkrebs ist die UV-Strahlung der Sonne und die von Solarien“ (aus: *Die Welt*, [www.welt.de/politik/deutschland/article124509804/Dramatischer-Anstieg-von-Hautkrebs-Erkrankungen.html](http://www.welt.de/politik/deutschland/article124509804/Dramatischer-Anstieg-von-Hautkrebs-Erkrankungen.html), Februar 2014).

**Ziele:** In dieser Aufgabe soll experimentell ermittelt werden, welche Wirkungen UV-Strahlung auf organische Körper besitzt und wie man sich vor der energiereichen Strahlung am besten schützen kann.

### **Aufgaben**

1) „Weisen Sie die Wirkungen von UV-Strahlung auf organische Körper selbst experimentell nach. Gleichzeitig sollen Sie möglichst genau experimentell bestimmen, wie man sich am besten vor UV-Strahlung schützen kann. Das Experiment sollte ca. 10 Minuten in Anspruch nehmen.“

Ihnen stehen folgende Materialien zur Verfügung:

- eine UV-B-Strahlungsquelle	- eine Stoppuhr	- eine Styroporplatte
- ein Messer	- ein Aufkleber bzw. Klebeband	- ein Apfel und Blätter
- ein Schneidebrett	- Sonnenschutzmittel (geringer LSF)	- UV-Schutzfolie
- Stecknadeln	- ein Glas einer Sonnenbrille	- Kunststoffdeckel
- Stoffe (div. Textilien)	- weiches, unbehandeltes Leder	- Sonnenschutzmittel (hoher LSF)

**Planen Sie zunächst mündlich unter Verwendung der oben genannten Materialien einen Versuch, der die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen vor UV-(B)-Strahlung eindrucksvoll demonstriert, ehe Sie die Versuchsanordnung aufbauen.**

**Gehen Sie im Folgenden schriftlich knapp auf die ihrem Experiment zugrunde liegenden 9 Versuchsvarianten ein.**

- 2 a) Überlegen Sie, welche Versuchsvariante Ihrer Meinung nach die stärkste Veränderung mit sich bringen wird. Füllen Sie auf Basis Ihrer Ergebniserwartung die erste Spalte der nachfolgenden Tabelle aus.

Verwenden Sie dabei folgende Symbolik für die Veränderung des Apfelstückchens bzw. des Blattes nach der Bestrahlung:

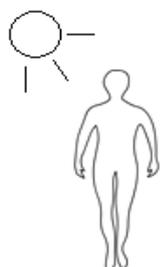
+ starke Veränderung	o kaum Veränderung	- keine Veränderung
----------------------	--------------------	---------------------

Zustand des ...	Vermutung	Ergebnisse des Experiments
	Nach Bestrahlung mit UV-Licht	Nach Bestrahlung mit UV-Licht
... unbehandelten Apfelstückchens/Blattes		
... Apfelstückchens/Blattes mit Sonnenschutzmittel von niedrigem Lichtschutzfaktor		
... Apfelstückchens/Blattes mit Sonnenschutzmittel von hohem Lichtschutzfaktor		
... mit Klebestreifen versehenen Apfelstückchens/Blattes		
... mit einem Sonnenbrillenglas verdeckten Apfelstückchens/Blattes		
... weichen, unbehandelten Leders		
... mit einer UV-Schutzfolie bedeckten Apfelstückchens/Blattes		
... mit Textilien bedeckten Apfelstückchens/Blattes		
... mit einem Kunststoffdeckel bedeckten Blattes		

b) Führen Sie nun zur Überprüfung Ihrer Vermutung den von Ihnen geplanten Versuch durch. Bestrahlen Sie die von Ihnen konzipierte Versuchsanordnung 20 Minuten lang mit der UV-B-Strahlung. Fotografieren Sie dabei während des Bestrahlungsvorgangs die Experimentieranordnung alle 5 Minuten mit Ihrem Smartphone.

c) Ergänzen Sie die Spalte „Ergebnisse des Experiments nach Bestrahlung mit UV-Licht“ mit denen von Ihnen experimentell ermittelten Beobachtungen und vergleichen Sie die tatsächlichen Ergebnisse mit Ihren zunächst festgehaltenen Vermutungen.

- 3) Nennen Sie auf Grundlage des obigen Versuchs Schutzmaßnahmen vor UV-Strahlung. Die Abbildung könnte Ihnen dabei helfen.



.....

.....

.....

.....

.....

- 4) Betrachten Sie die Experimentieranordnung in gut 60 Minuten nach der 20-minütigen Bestrahlung. Was fällt Ihnen dabei auf? Sie können für die Bearbeitung der Aufgabe die Bildsequenz von Aufgabe b) verwenden.

---



---

### Experiment 3: Wir untersuchen die Schutzwirkung ausgewählter Materialien vor UV-Strahlung

**Ziele** In diesem Experiment wird das Absorptionsverhalten unterschiedlichster Materialien auf die UV-A, UV-B und UV-C Strahlung untersucht. Dabei können sich wichtige Hinweise auf die Verwendung von UV-absorbierenden Materialien in der Kleiderherstellung, beim Häuserbau und sonstigen Anwendungsbereichen ergeben.

#### Aufgaben

„In einer Reihe von Versuchen mit verschiedenen Materialien (z.B. Plättchen aus Fensterglas, Quarzglas) wurde überprüft, wie viel Strahlung durch das Probe-Plättchen gelangt und somit am Sensor auftrifft. Jeweils vor und nach der Anbringung des Probe-Plättchens wird die am jeweiligen Sensor detektierte (ankommende) Strahlung gemessen. Die gesamte Messreihe ist der nachstehenden Tabelle zu entnehmen“:

#### Intensitätsmessung in $W/m^2$

	Fensterglas	Quarzglas	Plexiglas	PVC	Leermessung (ohne Probe)
UV-A-Strahlung	8,87	9,03	2,25	0,33	9,45
UV-B-Strahlung	0,12	1,09	0	0	1,28
UV-C-Strahlung	0,05	11,92	0,06	0,05	13,47

1) Überprüfen Sie die der obigen Tabelle zu entnehmenden Daten experimentell.

Finden Sie dabei heraus, welches der vier Ihnen zur Verfügung stehenden Plättchen dem Fensterglas, dem Quarzglas, dem Plexiglas sowie dem PVC-Plättchen entspricht.

Tragen Sie die von Ihnen bestimmten Messergebnisse in die nachstehende Tabelle ein.

#### Intensitätsmessung in $W/m^2$

	Fensterglas	Quarzglas	Plexiglas	PVC	Leermessung (ohne Probe)
UV-A-Strahlung					
UV-B-Strahlung					
UV-C-Strahlung					

2) Auf die Erde gelangen lediglich UV-A und UV-B Strahlung. Welche Materialien wären aus Ihrer Sicht für die Kleiderherstellung und den Häuserbau am besten geeignet?

3) Verwenden Sie nun ausschließlich den UV-B-Strahlungsbereich. Untersuchen Sie die absorbierende Wirkung von Sonnenschutzmittel, welches auf einem Quarzglasplättchen aufgetragen wurde. Vergleichen Sie die beiden Werte.

	Quarzglas	Quarzglas mit Sonnenschutzmittel
UV-B-Strahlung [ $W/m^2$ ]		

- 4) *„An wolkenverhangenen Tagen brauche ich keine Angst vor UV-Strahlung zu haben. Schließlich halten die Wolken die UV-Strahlung ziemlich gut zurück.“*

Zur Überprüfung dieser Aussage stehen Ihnen folgende Materialien zur Verfügung:

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| - eine UV-B-Strahlungsquelle | - ein kleines Glasgefäß                       |
| - ein UV-B-Sensor            | - eine Thermoskanne mit kochend heißem Wasser |

**a) Entwerfen Sie eine Experimentieranordnung, mit der sich die absorbierende Wirkung von UV-B-Strahlung nachweisen lässt und führen Sie das Experiment durch.**

**b) Können Sie die obige Aussage mit Ihren Beobachtungen stützen?**

### **Experiment 4: Wir stellen Ozon her und überprüfen dessen UV-absorbierende Wirkung am Sensor und achten dabei auf eine Temperaturveränderung**

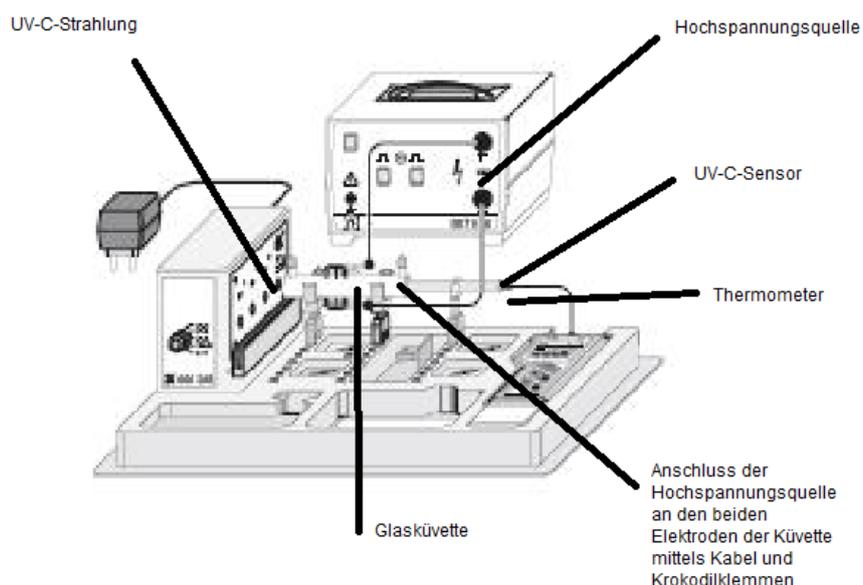
**Ziele** In dieser Aufgabe soll experimentell Ozon hergestellt werden und dessen Einfluss auf die UV-Strahlung untersucht werden. Dabei wird fortwährend bei allen Vorgängen auf eine Temperaturveränderung geachtet. Auch ist von Interesse, wie lange die Ozonherstellung dauert.

#### **Aufgaben**

- 1) Im diesem Teil der Versuchsreihe wird mit Hilfe des Experimentierkits (siehe Abbildung unten) Ozon unter Küchentischbedingungen künstlich hergestellt. Für diesen Versuch wird als Strahlungsquelle der UV-C – Bereich gewählt.

Dabei soll am UV-C-Sensor untersucht werden, welche Veränderungen der detektierten Strahlung bei der Ozonherstellung eintreten. Auch soll unter Verwendung eines Thermometers experimentell überprüft werden, ob und wie sich die Temperatur am Sensor bei der Herstellung des Ozons verändert.

*Schauen Sie sich die unten stehende Abbildung genau an.*



- 2) Wählen Sie am Experimentierset die UV-C-Strahlungsquelle aus und bringen Sie den dazugehörigen Sensor (einschließlich des Messgeräts) wie in der obigen Abbildung an. Bringen Sie nun zwischen der UV-C-emittierenden Strahlungsquelle und dem Sensor die mit Luft gefüllte Glasküvette ein.
- 3) Messen Sie zunächst die Temperatur in der mit Luft gefüllten Glasküvette und tragen Sie den Wert in die nachfolgende Tabelle ein.
- 4) Bevor man mit der Ozonherstellung beginnt: Notieren Sie die Daten aus der Leermessung ins *Verlaufsprotokoll* der nachfolgenden Tabelle.

Tragen Sie die unter 3 und 4 bestimmten Werte in die erste leere Spalte der unten stehenden Tabelle ein:

	Leermessung (Luft)	Messung mit hergestelltem Ozon
Transm. Intensität am UV-C-Sensor [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]		
Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]		

Nachdem bis jetzt dieser Versuch als Schülerexperiment durchgeführt wurde, muss der die Experimentierreihe betreuende Lehrer an dieser Stelle aus Sicherheitsgründen die weitere Durchführung des Versuchs übernehmen.

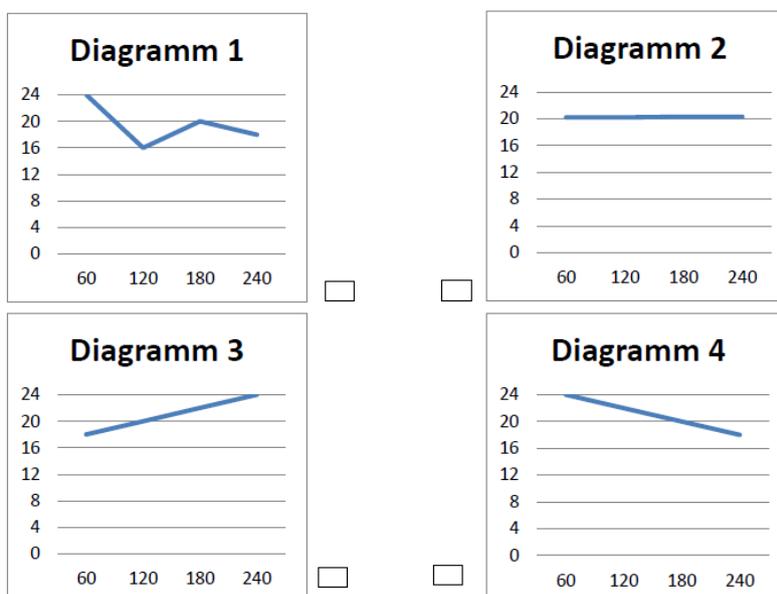
Dabei bringt die Lehrkraft sowohl ein Thermometer in der Glasküvette ein als auch den UV-C-Sensor sicher am Gegeneinde der Glasküvette an, so dass sämtliche Veränderungen der beiden relevanten Größen (Temperatur und UV-C-Strahlung) für die Schülergruppe gut ablesbar sind.

Bevor als nächstes eine Hochspannungsquelle ( $U \sim 8,5 \text{ kV}$ ) an die Elektroden der Küvette zum Zwecke der Ozonerzeugung angeschlossen und eingeschaltet wird, bearbeiten Sie bitte die Aufgaben 5 und 6.

5) Welche Beobachtungen würden Sie bei diesem Versuch erwarten?

	Ja	Nein
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit zunehmender Ozonkonzentration an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit zunehmender Ozonkonzentration gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit zunehmender Ozonkonzentration ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt bei zunehmender Ozonkonzentration zunächst zu, aber nachdem der Repräsentanzwert erreicht wird, wieder ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6) Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während der Ozonherstellung an, den Sie erwarten würden?

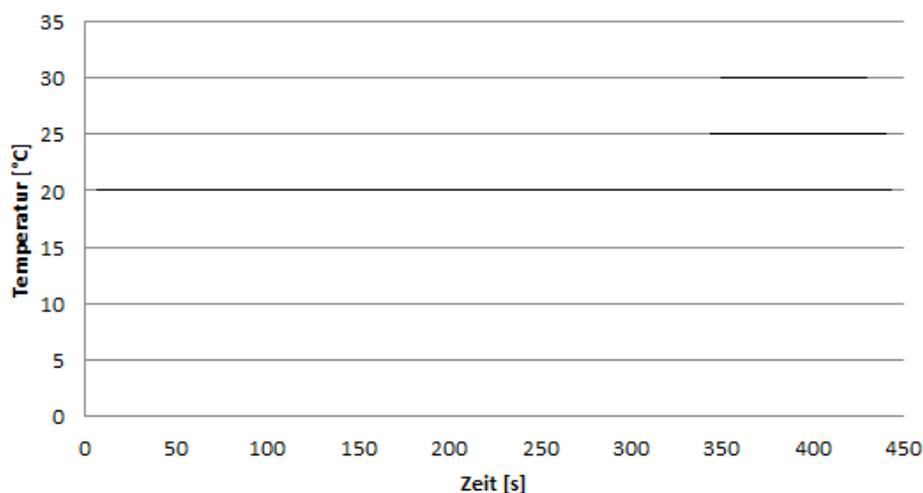


- 7) Während der Ozonherstellung notieren Sie bitte alle 15 Sekunden sowohl die in der Glasküvette vorherrschende Temperatur als auch die am UV-C-Sensor ankommende Strahlung in die beiden unten stehenden Diagramme.

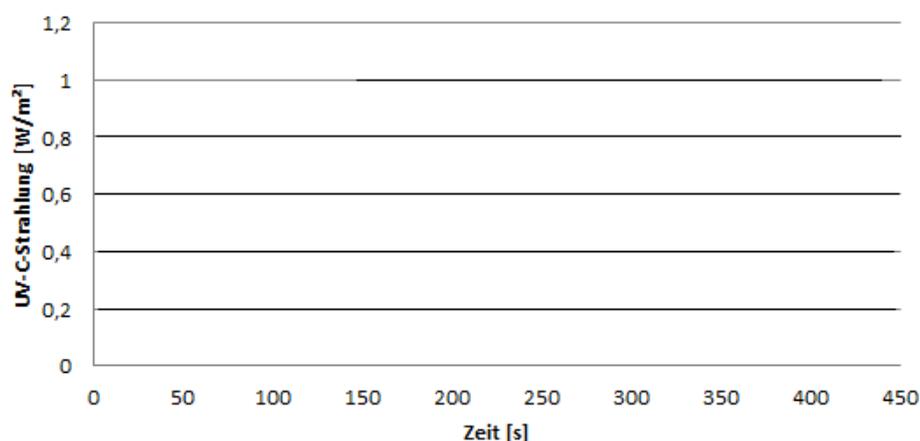
Sobald sich ein Repräsentanzwert am UV-C-Sensor einpendelt, können Sie davon ausgehen, dass die Glasküvette maximal mit Ozon angereichert ist.

- 8) Achten Sie dabei auf die Zeit, die verstreicht, um einen soliden und stabilen Wert am UV-C-Sensor ablesen zu können.

### Temperaturverlauf bei der Ozonherstellung



### Detektierte UV-C-Strahlung bei der Ozonherstellung



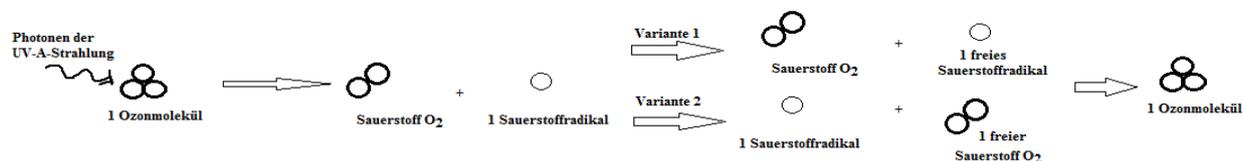
- 9) Ergänzen Sie nun die zweite Spalte der Tabelle um die aus dem Experiment gewonnenen Werte im Hinblick auf die am Sensor auftretende Intensität der UV-C-Strahlung und auf die nun in der ozonangereicherte Glasküvette vorherrschende Temperatur.

- 10) Welche Veränderungen sind durch die Herstellung des Ozons in der Glasküvette im Hinblick auf die am Sensor auftretende UV-C-Strahlung und am Thermometer abzulesende Temperatur zu erkennen? Welche Aussagen können Sie über die Dauer treffen, die für die Ozonherstellung benötigt wurde?

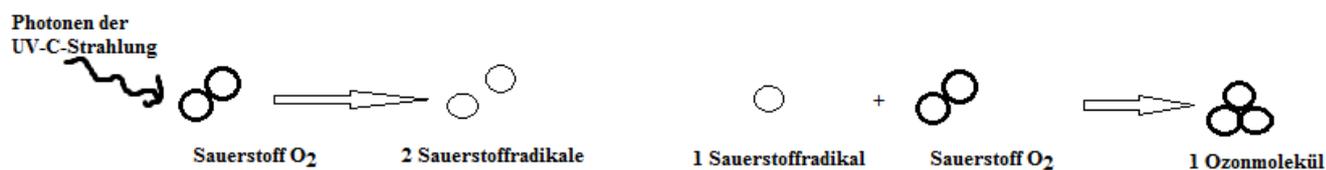
## Exkurs Ozonherstellung

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen unterschiedliche Varianten der Ozonherstellung. Beschreiben Sie mit eigenen Worten die an der Ozonherstellung beteiligten Strahlungsarten, Moleküle und Vorgänge.

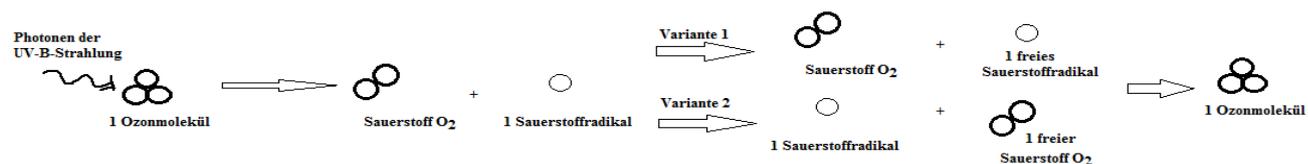
### Variante 1



### Variante 2



### Variante 3



**Experiment 5: Wir zerstören Ozon durch Dichlormethan und simulieren somit das Ozonloch.**

**Dabei ermitteln wir die Auswirkungen des Ozonabbaus auf die UV-Strahlung und achten auf eine Temperaturveränderung.**

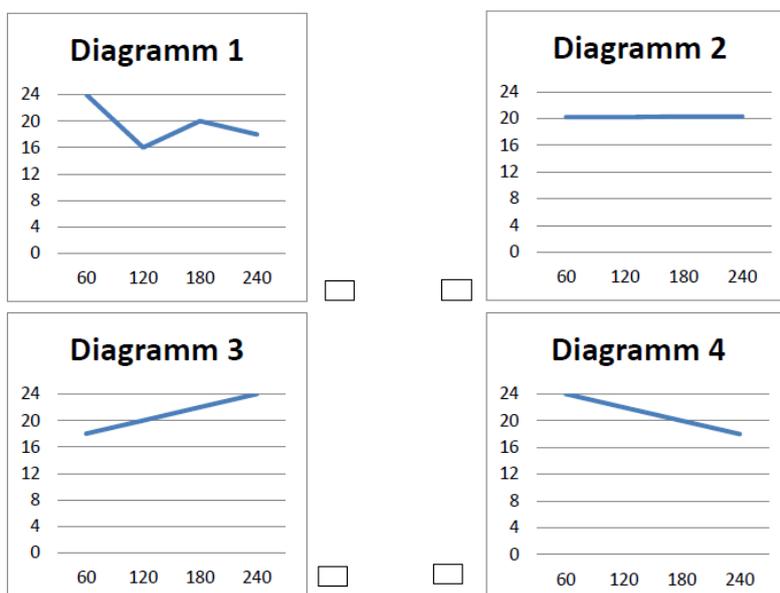
**Ziele** Ziel des Versuchs ist die Demonstration des Ozonabbaus durch Halogene aus den FCKWs. In der entwickelten Experimentierreihe findet Dichlormethan als Halogenersatz aus den FCKWs Verwendung. Dabei untersuchen wir den Temperaturverlauf und die zeitliche Dauer während der Ozonzerstörung sowie die Verweildauer der FCKWs.

Folgende Versuchsmaterialien stehen zur Verfügung:

- |   |   |
|---|---|
| - Handschuhe                              | - Mundschutz                            |
| - 2 ml Dichlormethan                      | - UV-C-Sensor, einschließlich Messgerät |
| - eine Spritze                            | - ein Thermometer                       |
| - eine Stoppuhr (Smartphone)              | - eine UV-C-Strahlungsquelle            |
| - eine mit Ozon angereicherte Glasküvette |   |

**Aufgaben**

- Beschreiben Sie ihre geplante Experimentdurchführung mündlich.**
- Welches der Diagramme zeigt den Temperaturverlauf während des Ozonabbaus an, den Sie erwarten würden?**



- Welche Beobachtungen würden Sie bei diesem Versuch erwarten?**

	Ja	Nein
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert steigt mit abnehmender Ozonkonzentration an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert bleibt mit abnehmender Ozonkonzentration gleich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der am UV-C-Sensor angezeigte Wert nimmt mit abnehmender Ozonkonzentration ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

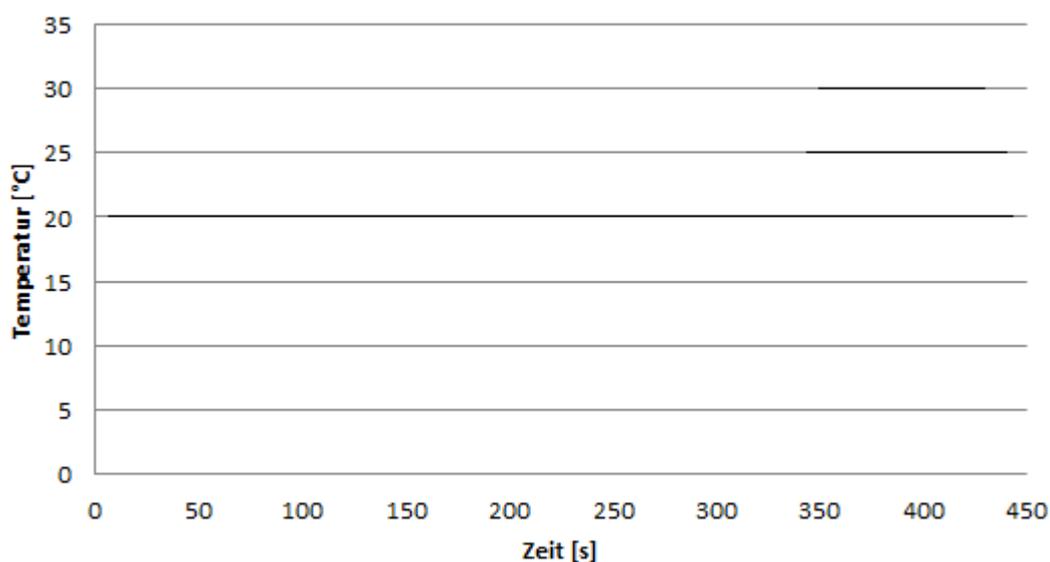
Ziehen Sie sich Mundschutz und Handschuhe über und geben Sie nun vorsichtig unter Verwendung der Spritze etwas Dichlormethan (V~ 2ml) in die mit Ozon angereicherte Glasküvette.

Dabei muss ein Gummiaufsatz auf der Oberseite des Glasgefäßes entfernt werden, welcher – nachdem sich das Dichlormethan in der Glasküvette verteilt hat – wieder angebracht wird.

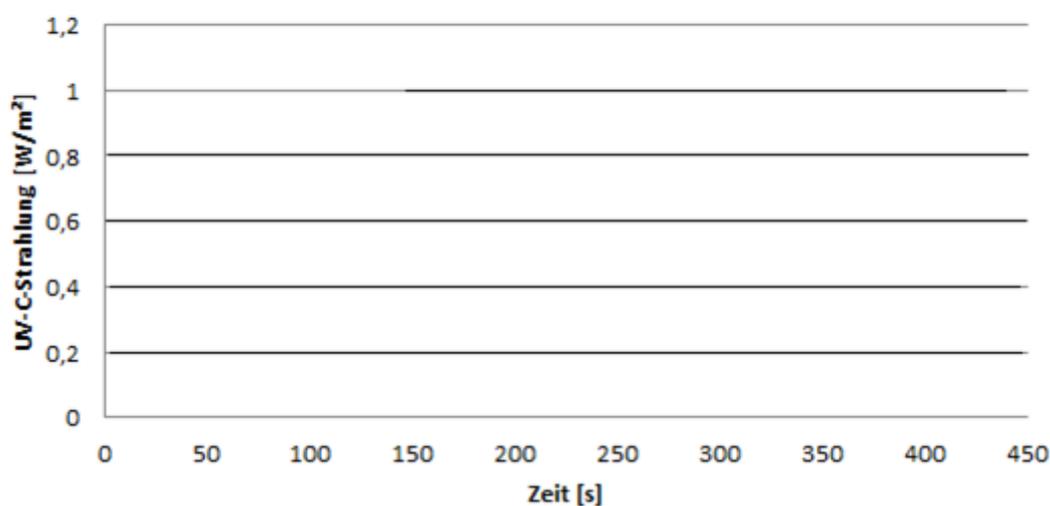
- 4) **Schalten Sie erneut die UV-C-Lampe an und bestimmen Sie nun die auftreffende Strahlung am UV-C-Sensor hinter der Glasküvette sowie die Temperaturveränderung innerhalb der Glasküvette. Tragen Sie dabei sowohl den zeitlichen Verlauf der Temperatur (innerhalb der Glasküvette) sowie der detektierten UV-C-Strahlung alle 15 Sekunden in die beiden nachstehenden Diagramme ein.**

**Bestimmen Sie überdies die Zeit, bis sich ein Repräsentanzwert bei der Ozonzerstörung einstellt.**

### Temperaturverlauf bei der Ozonzerstörung



### Detektierte UV-C-Strahlung bei der Ozonzerstörung



- 5) Ergänzen Sie zunächst die Ergebnisse von **Experiment 4** in die ersten beiden leeren Spalten der Tabelle. Tragen Sie nun das Ergebnis der Messung aus Aufgabe 5 in die letzte Spalte der nachfolgenden Tabelle ein:

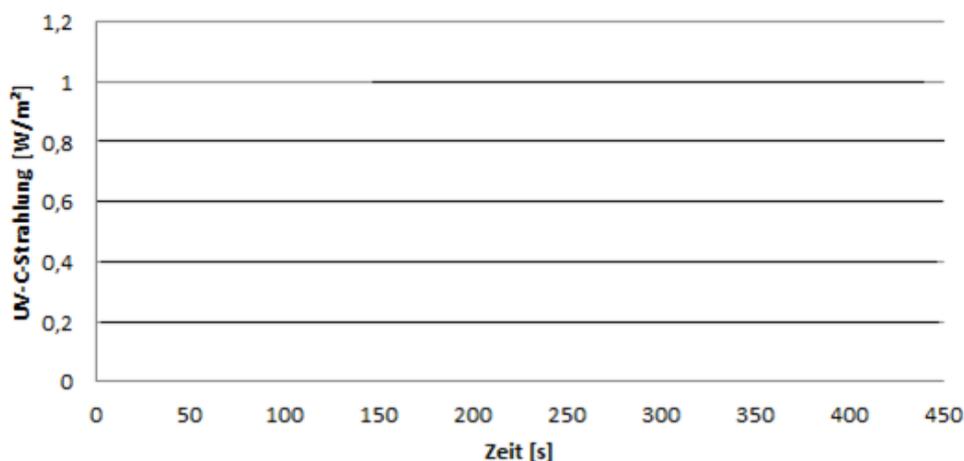
	Leermessung (Luft)	Messung mit hergestelltem Ozon	Messung mit Ozon und Dichlormethan
Transm. Intensität am UV-C-Sensor [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]			
Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]			

- 6) Welche Veränderung ist durch die Zerstörung des Ozons durch Dichlormethan in der Glasküvette im Hinblick auf die am Sensor auftreffende UV-C-Strahlung und die am Thermometer abzulesende Temperatur zu erkennen?

Anschließend schaltet der betreuende Lehrer die Hochspannung wieder ein und hält nach einer Weile den sich eingependelten Wert der Intensitätsmessung in der Einheit [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] fest.

- 7) Tragen Sie nun den zeitlichen Verlauf der am UV-C-Sensor ankommenden Strahlung bei der erneuten Ozonherstellung ein.

### Detektierte UV-C-Strahlung bei der Ozonherstellung (Glasküvette mit Dichlormethan angereichert)



- 8) Dauert die Ozon-Herstellung oder die Ozon-Zerstörung länger? Vergleichen Sie die beiden von Ihnen festgehaltenen Messwerte.

.....

- 9) Erläutern Sie, welche Auswirkungen z.B. die Verteilung von in FCKWs in der Ozonschicht für die aktuelle und künftige Situation besitzt. Dabei dürfen Sie sich auf die nachfolgende Tabelle beziehen.

**Verweildauer von ausgewählten ,Treibhausgasen‘**

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	FCKW
Verweildauer in der Atmosphäre in Jahren	10	7-10	0,10	90





Durchführung von Experiment 1



Temperaturveränderung nach einer Bestrahlungszeit von 5 Minuten (Abstand von 30 cm) am Beispiel der IR-Strahlung (links), sichtbaren Strahlung (mitte) und UV-Strahlung (rechts)

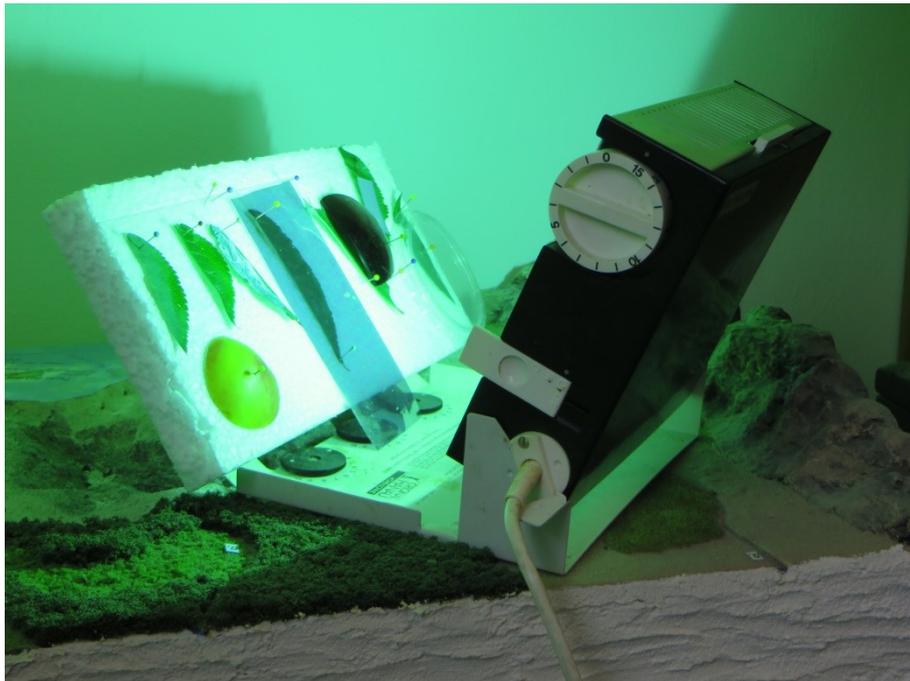
**Experiment 2: Wir untersuchen die Wirkung von UV-Strahlung und erarbeiten Konzepte zum Schutz vor UV-Strahlung**



Lehr-Lern-Umgebung zu Experiment 2



Vorbereitung der Versuchsmaterialien von Experiment 2



Bestrahlung der Experimentierplatte mit UV-Strahlung (ca. 15 Minuten)

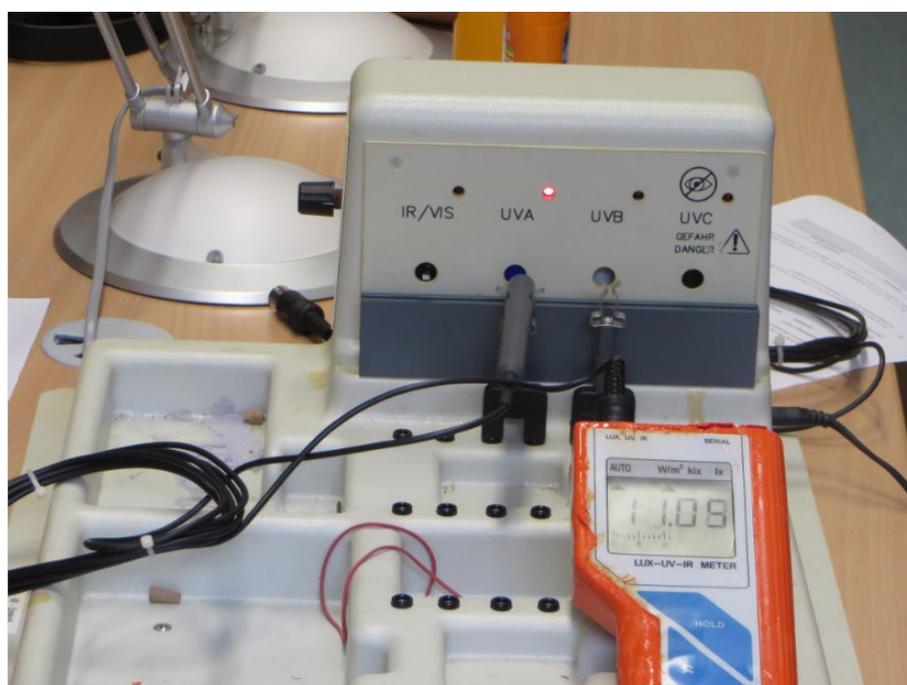


Experimentieranordnung nach der Bestrahlung (ca. 60 Minuten später)

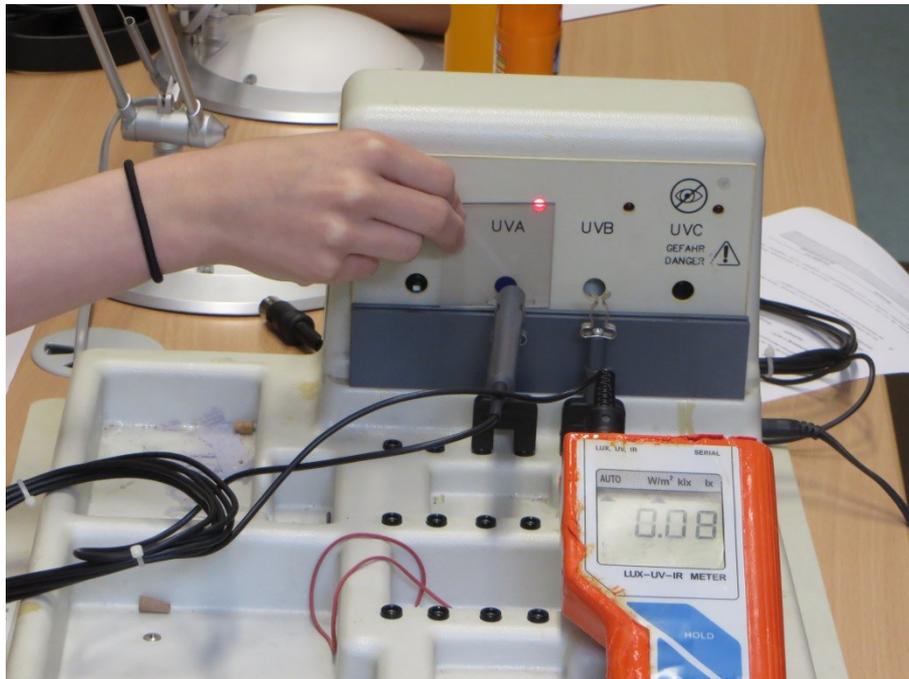
### Experiment 3: Wir untersuchen die Schutzwirkung ausgewählter Materialien vor UV-Strahlung



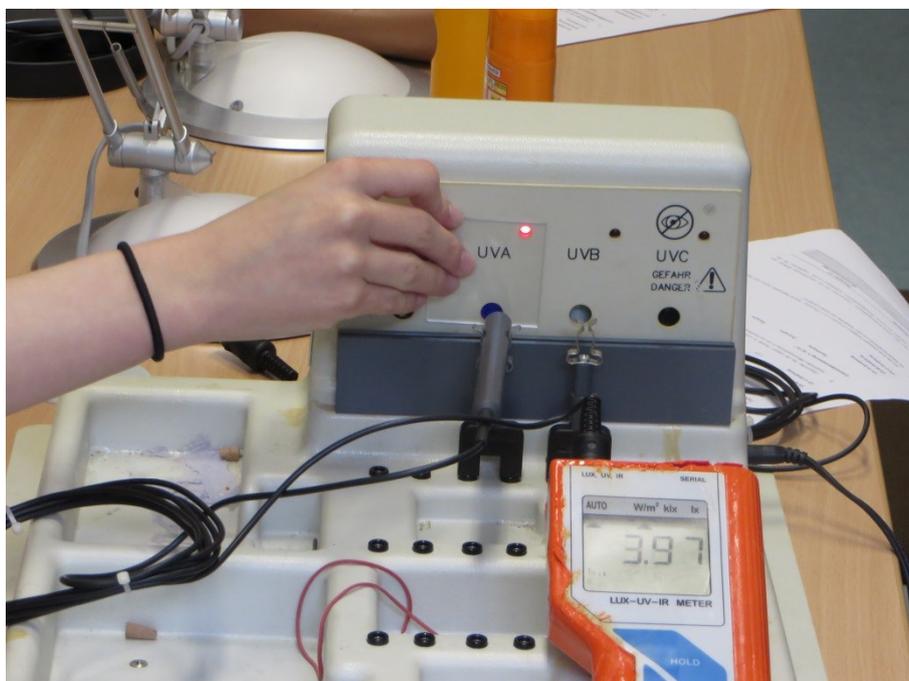
Lehr-Lern-Umgebung zu Experiment 3



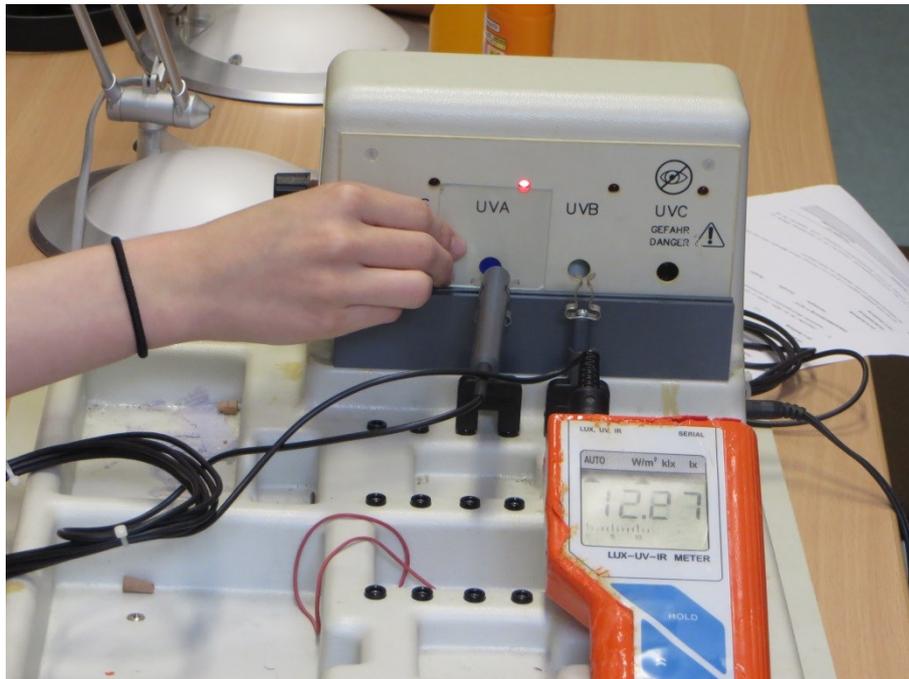
Leermessung – Strahlungsbereich UV-A ( $11,05 \text{ W/m}^2$ )



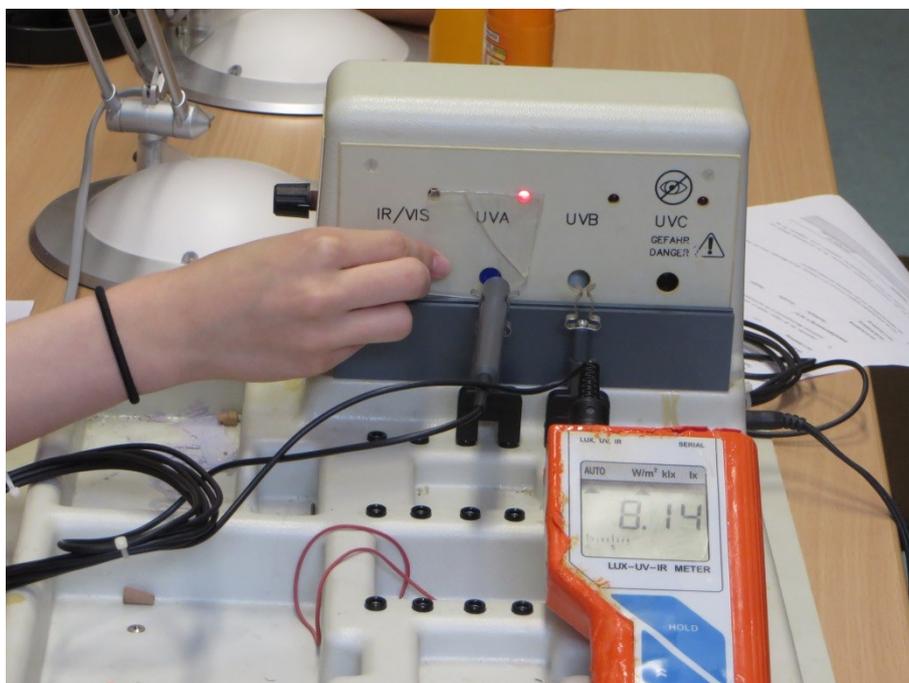
UV-A-Strahlung: Überprüfung der absorbierenden Wirkung eines Plättchens  
(Messwert 0,08 W/m<sup>2</sup>)



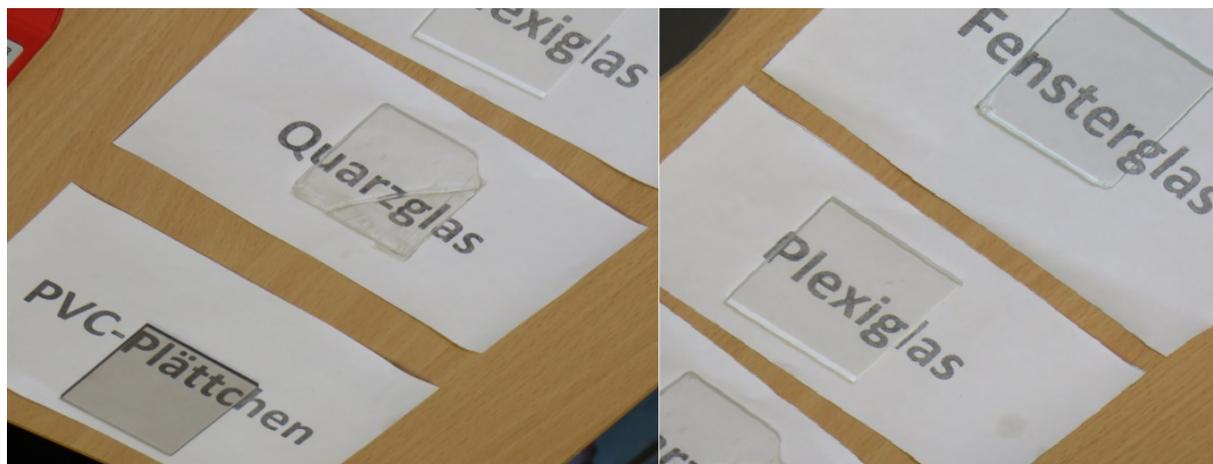
UV-A-Strahlung: Überprüfung der absorbierenden Wirkung eines Plättchens  
(Messwert 3,97 W/m<sup>2</sup>)



UV-A-Strahlung: Überprüfung der absorbierenden Wirkung eines Plättchens  
(Messwert 12,27 W/m<sup>2</sup>)



UV-A-Strahlung: Überprüfung der absorbierenden Wirkung eines Plättchens  
(Messwert 8,14 W/m<sup>2</sup>)



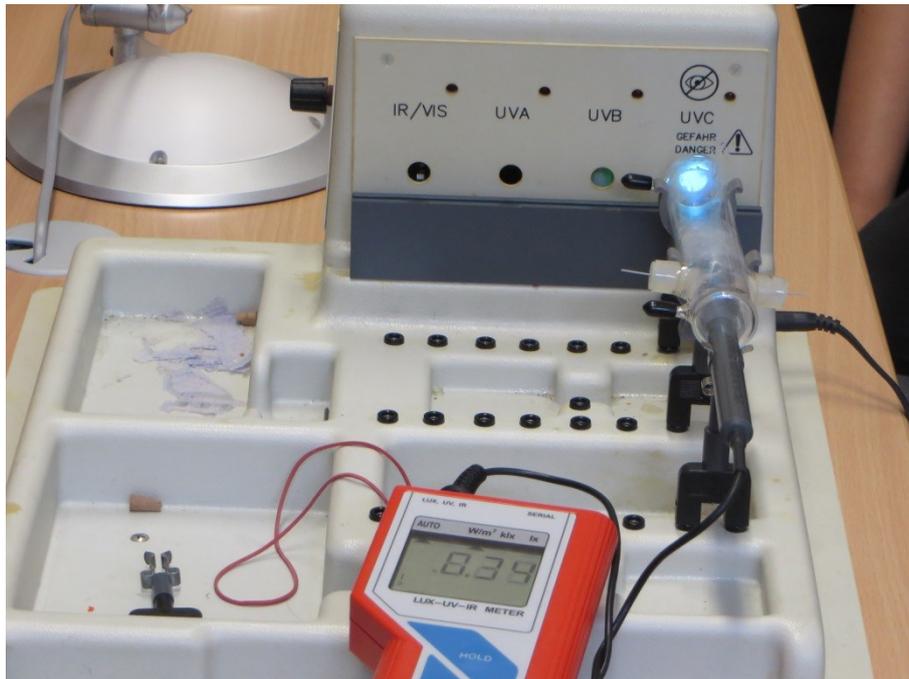
Zuordnung der vier Probe-Plättchen (PVC, Quarz-, Plexi- und Fensterglas) auf Grundlage deren absorbierenden Wirkung

Wiederholung des Experiments mit der UV-B- und UV-C-Strahlungsquelle

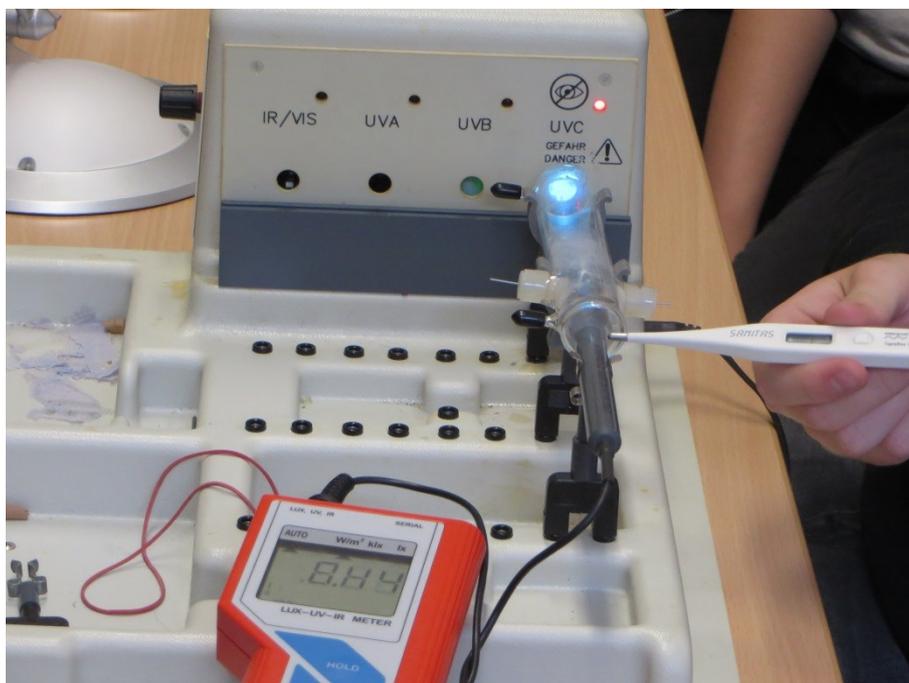
**Experiment 4: Wir stellen Ozon her und überprüfen dessen UV-absorbierende Wirkung am Sensor und achten dabei auf eine Temperaturveränderung**



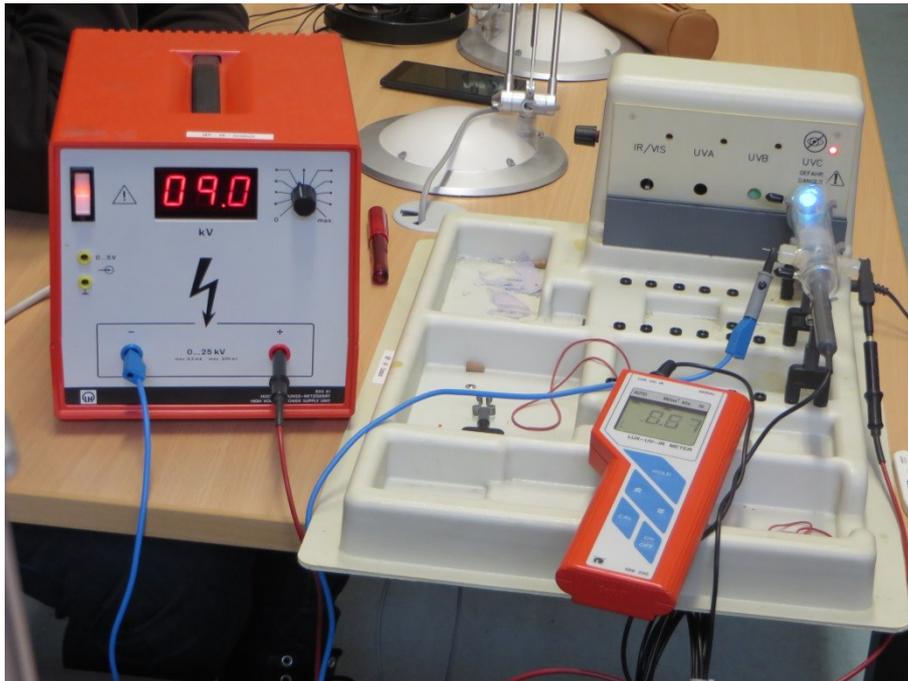
Lehr-Lern-Umgebung von Experiment 4



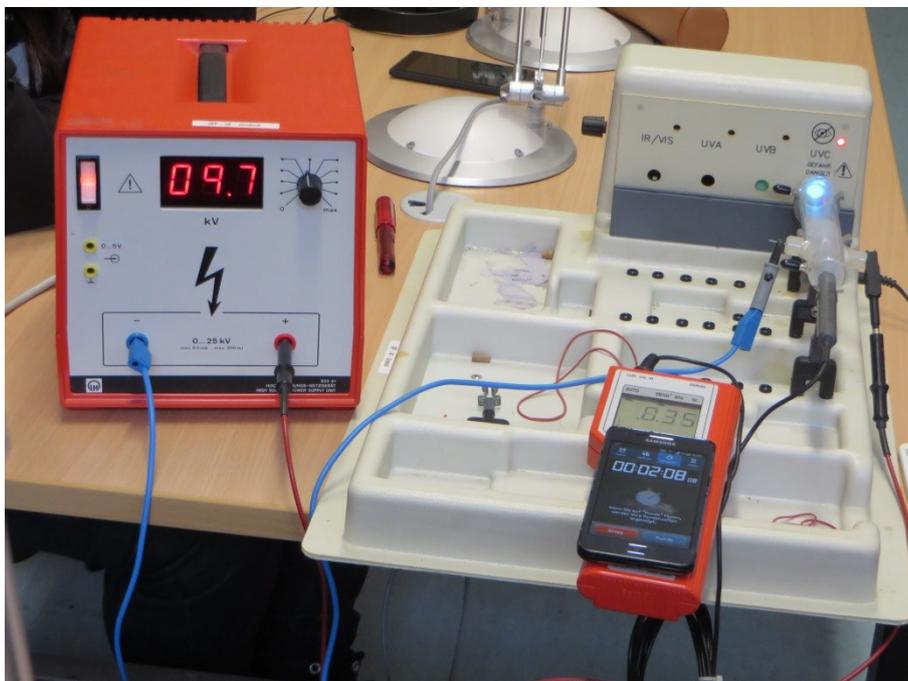
Messung der UV-C-Strahlung, welche durch eine mit Luft gefüllte Glasküvette gelangt  
(max. Messwert:  $0.68 \text{ W/m}^2$ )



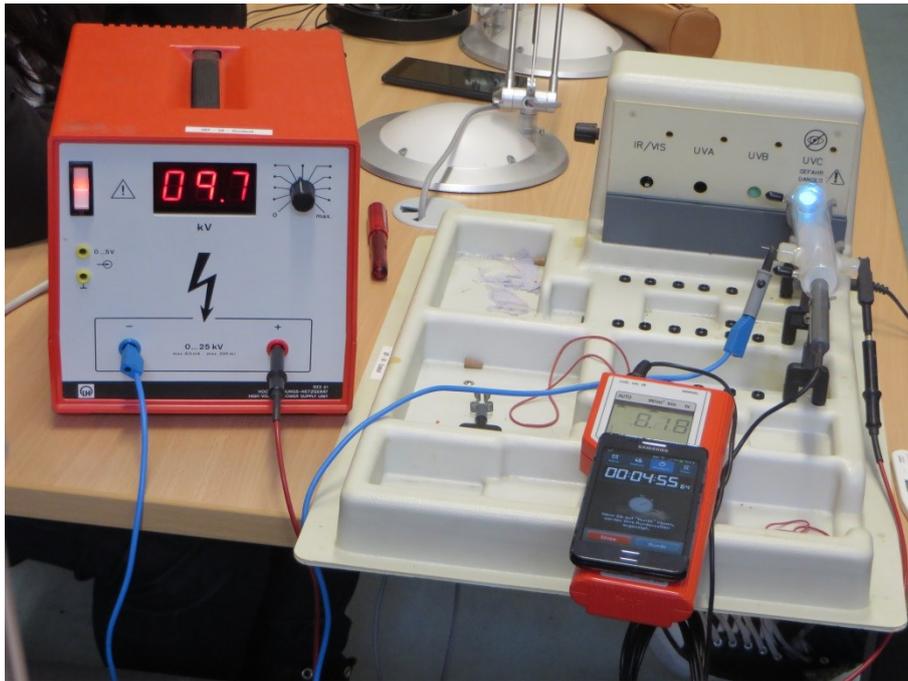
Bestimmung der Temperatur innerhalb der Glasküvette



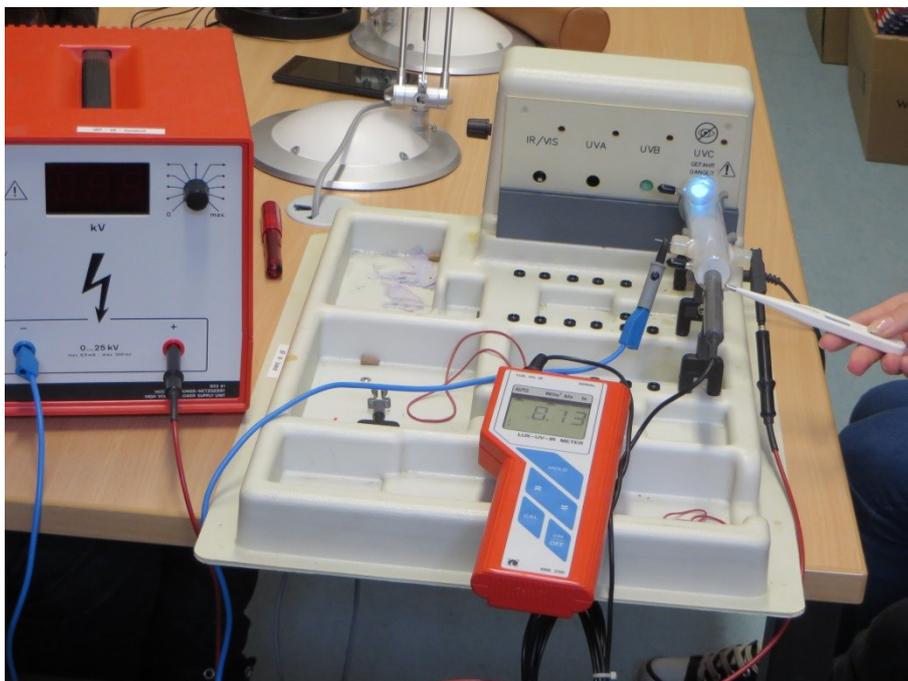
Die Glasküvette wird mit zwei Elektroden verbunden, an denen eine Spannung von 9kV anliegt. Die Ozonherstellung setzt nun ein, die Messung ergibt einen Wert von  $0,68 \text{ W/m}^2$  am UV-C-Sensor.



Nach einer Zeit von 2:08 Minuten beträgt der am UV-C-Sensor detektierte Wert  $0,35 \text{ W/m}^2$ . Das Ozonmolekül absorbiert UV-C-Strahlung.



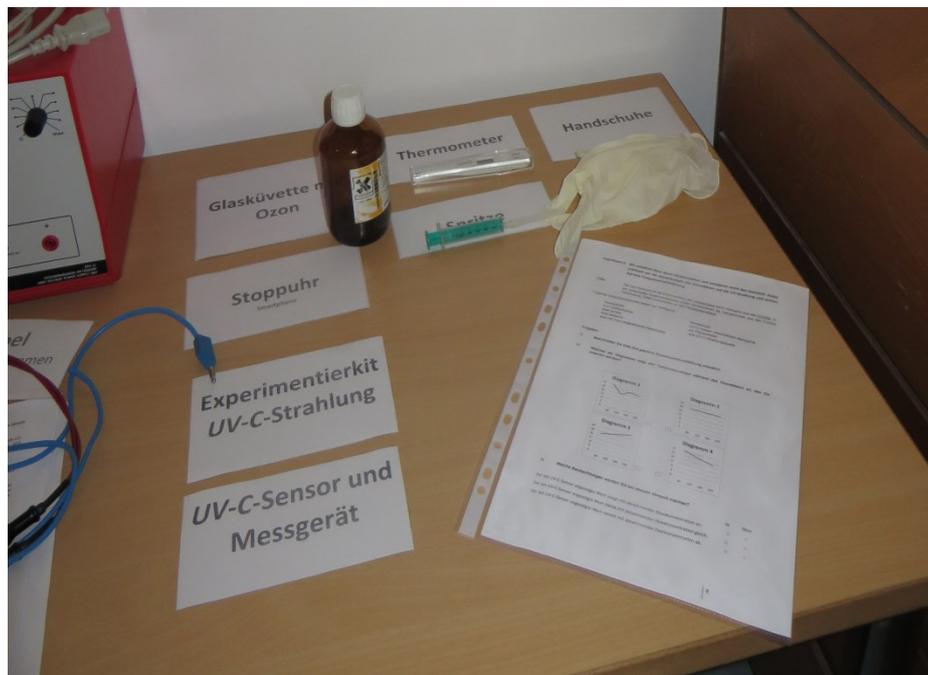
Nach einer Zeit von 4:55 Minuten beträgt der am UV-C-Sensor detektierte Wert  $0,18 \text{ W/m}^2$ .  
Das Ozonmolekül absorbiert UV-C-Strahlung.



Die Ozonherstellung ist durch die Einstellung eines Repräsentanzwertes von  $0,13 \text{ W/m}^2$  erfolgt. Erneut wird die in der Glasküvette vorhandene Temperatur bestimmt.

Das Ozonmolekül absorbiert UV-Strahlung.

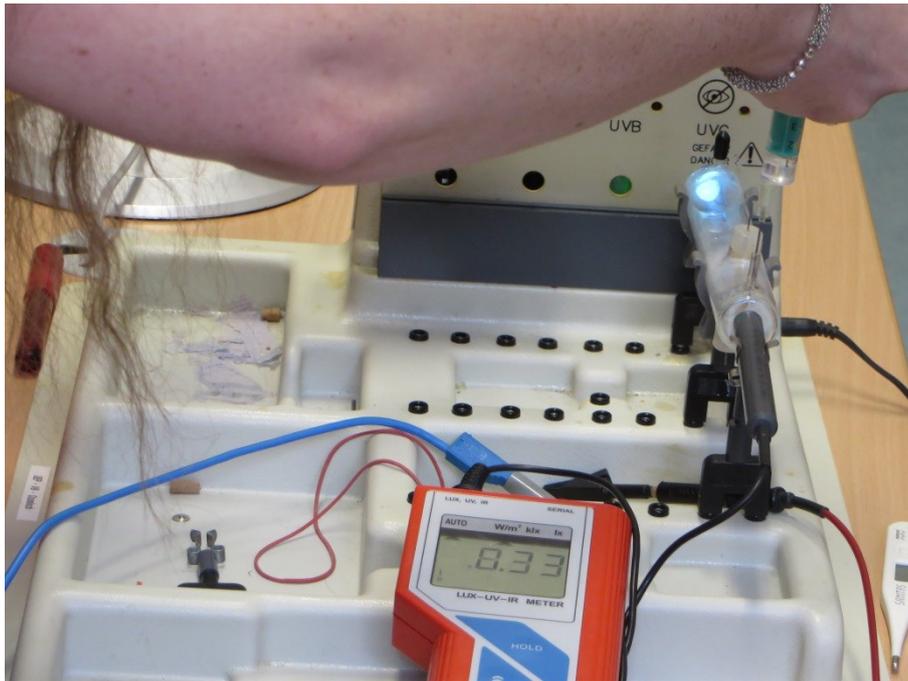
**Experiment 5: Wir zerstören Ozon durch Dichlormethan und simulieren somit das Ozonloch. Dabei ermitteln wir die Auswirkungen des Ozonabbaus auf die UV-Strahlung und achten auf eine Temperaturveränderung**



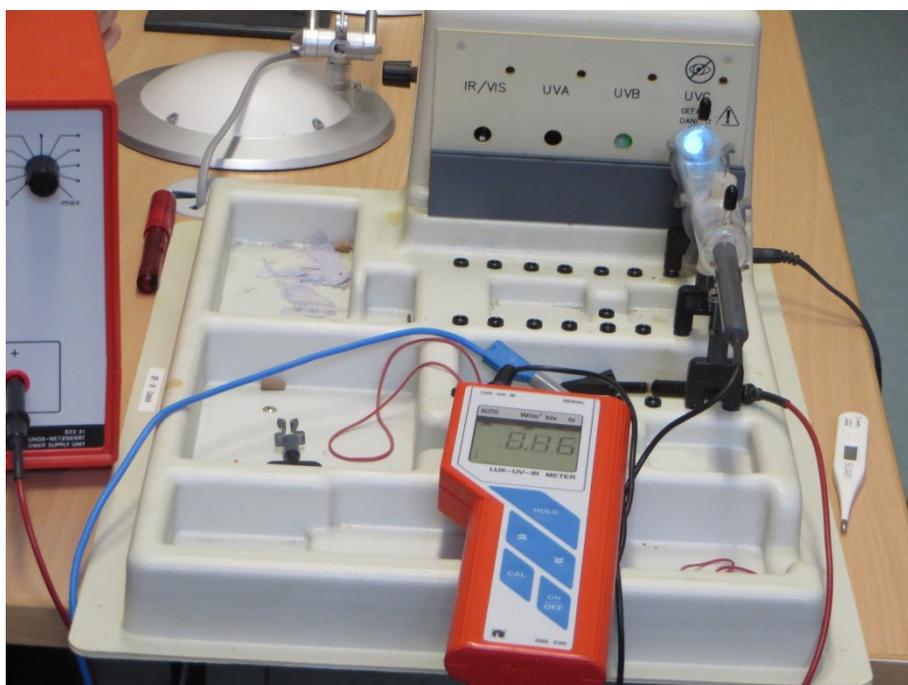
Lehr-Lern-Umgebung von Experiment 5



Aufziehen der Spritze mit 2ml Dichlormethan



Einspritzen von 2ml Dichlormethan in die mit Ozon angereicherte Glasküvette



Nach ca. 30 Sekunden der Dichlormethan-Beigabe stellt sich ein am UV-C-Sensor detektierter Wert von  $0,46 \text{ W/m}^2$  ein.

### Simulation des Ozonlochs:

Dichlormethan zerstört das Ozonmolekül, die UV-absorbierende Wirkung von Ozon ist nicht mehr gewährleistet. Die Ozonzerstörung erfolgt im Vergleich zur Ozonherstellung viel schneller.

## 9. Protokollationsbogen

Neben der photographischen Dokumentation der Intervention kommt Ihnen als beobachtender Studienteilnehmer eine besondere Rolle zu. Beantworten Sie die nachstehenden Fragen basierend auf Ihren eigenen Eindrücken.

### **Experiment 1: Wir untersuchen die thermischen Eigenschaften von UV-, sichtbarer und IR-Strahlung**

Zu folgenden Punkten fällt mir ein bzw. konnte ich folgende Eindrücke gewinnen:

- 1.) Relevanz des Themas: .....
- 2.) Zeitempfinden während des Experiments  
für mich persönlich: ... ..  
für meine Mitschüler: .....
- 3.) Selbsttätigkeit während des Experimentierens: .....
- 4.) Berücksichtigung von individuellen Interessen und Fertigkeiten: .....
- 5.) Anschaulichkeit der Experimente: .....
- 6.) Motivationale Wirkung des Experiments: .....
- 7.) Inhalt des Experiments: .....
- 8.) Zielsetzung des Experiments: .....
- 9.) Strukturierung des Experiments nach Inhalten und Vorgehensweisen: .....
- 10.) Erreichen der Experimentierziele und deren Dokumentation: .....

### **Experiment 2: Wir untersuchen die Wirkung von UV-Strahlung und erarbeiten Konzepte zum Schutz vor UV-Strahlung**

Zu folgenden Punkten fällt mir ein bzw. konnte ich folgende Eindrücke gewinnen:

- 1.) Relevanz des Themas: .....
- 2.) Zeitempfinden während des Experiments  
für mich persönlich: ... ..  
für meine Mitschüler: .....
- 3.) Selbsttätigkeit während des Experimentierens: .....
- 4.) Berücksichtigung von individuellen Interessen und Fertigkeiten: .....
- 5.) Anschaulichkeit der Experimente: .....
- 6.) Motivationale Wirkung des Experiments: .....
- 7.) Inhalt des Experiments: .....
- 8.) Zielsetzung des Experiments: .....

- 9.) Strukturierung des Experiments nach Inhalten und Vorgehensweisen: .....
- .....
- 10.) Erreichen der Experimentierziele und deren Dokumentation: .....
- .....

### **Experiment 3: Wir untersuchen die Schutzwirkung ausgewählter Materialien vor UV-Strahlung**

Zu folgenden Punkten fällt mir ein bzw. konnte ich folgende Eindrücke gewinnen:

- 1.) Relevanz des Themas: .....
- 2.) Zeitempfinden während des Experiments  
für mich persönlich: ... ..  
für meine Mitschüler: .....
- 3.) Selbsttätigkeit während des Experimentierens: .....
- .....
- 4.) Berücksichtigung von individuellen Interessen und Fertigkeiten: .....
- .....
- 5.) Anschaulichkeit der Experimente: .....
- .....
- 6.) Motivationale Wirkung des Experiments: .....
- .....
- 7.) Inhalt des Experiments: .....
- .....
- 8.) Zielsetzung des Experiments: .....
- .....
- 9.) Strukturierung des Experiments nach Inhalten und Vorgehensweisen: .....
- .....
- 10.) Erreichen der Experimentierziele und deren Dokumentation: .....
- .....

### **Experiment 4: Wir stellen Ozon her und überprüfen dessen UV-absorbierende Wirkung am Sensor und achten dabei auf eine Temperaturveränderung**

Zu folgenden Punkten fällt mir ein bzw. konnte ich folgende Eindrücke gewinnen:

- 1.) Relevanz des Themas: .....
- 2.) Zeitempfinden während des Experiments  
für mich persönlich: ... ..  
für meine Mitschüler: .....
- 3.) Selbsttätigkeit während des Experimentierens: .....
- .....
- 4.) Berücksichtigung von individuellen Interessen und Fertigkeiten: .....
- .....
- 5.) Anschaulichkeit der Experimente: .....
- .....
- 6.) Motivationale Wirkung des Experiments: .....
- .....
- 7.) Inhalt des Experiments: .....
- .....
- 8.) Zielsetzung des Experiments: .....
- .....

- .....
- 9.) Strukturierung des Experiments nach Inhalten und Vorgehensweisen: .....
- .....
- 10.) Erreichen der Experimentierziele und deren Dokumentation: .....
- .....

**Experiment 5: Wir zerstören Ozon durch Dichlormethan und simulieren somit das Ozonloch.**

***Dabei ermitteln wir die Auswirkungen des Ozonabbaus auf die UV-Strahlung und achten auf eine Temperaturveränderung.***

Zu folgenden Punkten fällt mir ein bzw. konnte ich folgende Eindrücke gewinnen:

- 1.) Relevanz des Themas: .....
- 2.) Zeitempfinden während des Experiments  
für mich persönlich: ... ..  
für meine Mitschüler: .....
- 3.) Selbsttätigkeit während des Experimentierens: .....
- .....
- 4.) Berücksichtigung von individuellen Interessen und Fertigkeiten: .....
- .....
- 5.) Anschaulichkeit der Experimente: .....
- .....
- 6.) Motivationale Wirkung des Experiments: .....
- .....
- 7.) Inhalt des Experiments: .....
- .....
- 8.) Zielsetzung des Experiments: .....
- .....
- 9.) Strukturierung des Experiments nach Inhalten und Vorgehensweisen: .....
- .....
- 10.) Erreichen der Experimentierziele und deren Dokumentation: .....
- .....

***Vielen Dank für Ihre wertvolle Mitarbeit!***

## G. Erklärung

Ich erkläre, dass die Dissertation über das Thema:

### **„Fehlvorstellungen zum Thema Ozon vermeiden**

**– eine Design-based Research-Studie unter besonderer Berücksichtigung der methodischen Großform des Experiments und motivationaler Perspektiven“**

- keiner anderen Universität, Hochschule oder Fakultät vorgelegen hat oder vorliegt;
- ich noch keinen Doktorgrad erlangt oder zu erlangen versucht habe;
- gegen mich keine Tatsachen vorliegen, die nach Art. 69 des Bayerischen Hochschulgesetzes die Entziehung des Doktorgrades rechtfertigen würden;
- ich einverstanden bin, dass die elektronische Fassung der Dissertation unter Wahrung meiner Urheberrechte und des Datenschutzes einer gesonderten Überprüfung unterzogen werden kann.

Ich versichere, dass ich sämtliche Stellen, die aus dem Schrifttum nahezu wörtlich oder sinngemäß entnommen sind, als solche kenntlich gemacht habe.

Augsburg, den .....

.....

Isabel Hörmann