



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Entwicklung und Evaluierung eines Luftkissengleiters für  
einen zweidimensionalen Mechanikunterricht

verfasst von / submitted by

Josef Emanuel Pürmayr

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2017 / Vienna, 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /  
degree programme code as it appears on  
the student record sheet:

A 190 412 482

Studienrichtung lt. Studienblatt /  
degree programme as it appears on  
the student record sheet:

Lehramtstudium UF Physik UF Bewegung und Sport

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf







## **Danksagung**

Ich bedanke mich an dieser Stelle bei allen Personen, die mich im Laufe meines Studiums unterstützt haben. Allen voran möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, welche mir das Studium erst ermöglicht haben. Sie stehen stets hinter mir und ich schätze mich glücklich, Eltern zu haben, die mir helfen mich beruflich, sowie persönlich weiterentwickeln zu können.

Ich möchte mich bei meinem Betreuer Univ. Prof. Dr. Martin Hopf bedanken, der mich während der Entstehung der Diplomarbeit mit wertvollen Hinweisen unterstützte. Als Mitbetreuerin stand mir Frau Mag. Brigitte Wolny während des Projektes stets mit wertvollem Feedback und viel Lob zur Seite. Hiermit möchte ich mich auch bei ihr besonders bedanken. Des Weiteren bedanke ich mich beim Team des AECC der Physik der Universität Wien, welches mir ein sehr positives Umfeld bot, in dem ich weite Teile meines Diplomarbeitprojektes verwirklichte.

Frau Univ. Prof. Dr. Verena Tobias danke ich speziell für die fachliche Unterstützung in der Anfangsphase des Projekts und Herrn Prof. Dr. Cyrill Slezak danke ich für die fachliche und linguistische Unterstützung bei der Erstellung von Konferenzbeiträgen bezüglich meines Diplomarbeitprojekts.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Freundin Christina, die mir stets zur Seite steht und durch deren Anmerkungen ich meine Arbeit kontinuierlich verbesserte.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Lernschwierigkeiten in der Mechanik</b> .....	<b>3</b>
2.1. Schülervorstellungen zur Kinematik.....	4
2.2. Kraftvorstellungen.....	7
2.3. Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung.....	9
<b>3. Ein zweidimensionaler Einstieg in die Mechanik</b> .....	<b>10</b>
3.1. Aufbau des Münchner Kurses.....	10
3.2. Kraftstoßkonzept.....	13
3.3. Kräfte diagramme.....	13
<b>4. Ein Unterrichtsmaterial für zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegungen</b> .....	<b>14</b>
<b>5. Theorie eines Luftkissengleiters</b> .....	<b>16</b>
5.1. Funktionsweise eines Luftkissengleiters.....	16
5.2. Physik eines Luftkissengleiters.....	17
<b>6. Entwicklung eines Luftkissengleiters</b> .....	<b>21</b>
6.1. Vorbemerkungen.....	21
6.2. Version 1.0.....	22
6.3. Version 2.0.....	25
6.4. Zuschnittformen der Schürze.....	28
6.5. Version 3.0.....	30
6.6. Version 4.0.....	33
6.7. Version 4.1.....	34
6.8. Version 5.0.....	37
6.9. Version 5.1.....	38
6.10. Version 5.2.....	39
6.11. Version 6.0.....	41
6.12. Version 7.0 und 3D-Druckverfahren.....	44
6.13. Version 7.1.....	50
6.14. Version 7.2.....	52
6.15. Version 7.3.....	54
<b>7. Testung des Luftkissengleiter auf die Konstanz der Zusatzgeschwindigkeit</b> .....	<b>59</b>
7.1. Setting.....	59
7.2. Durchführung.....	59
<b>8. Mögliche Experimente mit dem Luftkissengleiter</b> .....	<b>61</b>
8.1. Voraussetzungen für den Betrieb.....	61
8.2. Zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung.....	62
8.3. Eindimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung.....	64
8.4. Physikalische Erklärung der Balancemassenposition.....	65
<b>9. Grenzen und erwünschte Verbesserungen des Luftkissengleiters</b> .....	<b>70</b>
9.1. Beschränkung auf Samsung-Akkus.....	70
9.2. Keine variable Massenadaption des Luftkissengleiters.....	70
9.3. Zu geringe Reibungsverminderung.....	70
9.4. Zusatzgeschwindigkeit nicht variabel.....	70
9.5. Limitationen des Zeitschalters.....	71
<b>10. Ziele und Forschungsfrage</b> .....	<b>75</b>
<b>11. Methode</b> .....	<b>76</b>
11.1. Methodenauswahl.....	76
11.2. Interview als gewählte Methode.....	77

<b>12. Interview .....</b>	<b>79</b>
12.1. <i>Induktionsphase</i> .....	79
12.2. <i>Interviewphase</i> .....	80
12.3. <i>Testung des Interviewleitfadens</i> .....	81
12.4. <i>Teilnehmerinnen und Teilnehmer am Interview</i> .....	81
<b>13. Ergebnisse des Interviews.....</b>	<b>82</b>
13.1. <i>Eignung für den Münchner Kurs</i> .....	82
13.2. <i>Einordnung im Münchner Kurs</i> .....	82
13.3. <i>Unterstufe oder Oberstufe</i> .....	83
13.4. <i>Vorteile des Luftkissengleiters</i> .....	84
13.5. <i>Schwierigkeiten beim Einsatz</i> .....	84
13.6. <i>Beschaffung und Bau des Luftkissengleiters</i> .....	84
<b>14. Diskussion der Ergebnisse der Interviews .....</b>	<b>85</b>
<b>15. Folgerungen aus den Ergebnissen .....</b>	<b>88</b>
<b>16. Ausblick .....</b>	<b>89</b>
Anhang A Interviews .....	90
Anhang B Fertigungszeichnungen .....	124
Anhang C Bauanleitungen .....	128
Anhang D Zusammenfassung / Abstract.....	132
Literaturverzeichnis .....	133
Literaturverzeichnis .....	136
Lebenslauf.....	137

# 1. Einführung

Im Lehrplan des österreichischen Schulsystems stellt das Teilgebiet Mechanik eine wesentliche Komponente des Physikunterrichts der 6. Schulstufe dar.

Die fachdidaktische Forschung bezüglich der Mechanik zeigt, dass Schülerinnen und Schüler durch traditionellen Mechanikunterricht, wie er an österreichischen allgemeinbildenden höheren Schulen üblich ist, nur ein geringes konzeptuelles Verständnis zur Mechanik erlangen. Ein zweidimensionaler, dynamischer Einstieg in die Mechanik hingegen, erweist sich, nach Erkenntnissen der letzten Jahre, bezüglich des konzeptionellen Verständnisses, als vielversprechend. Ein Lehrgang, welcher einen zweidimensionalen, dynamischen Einstieg in die Mechanik ermöglicht, ist der Münchner Mechanikkurs (Wiesner, Wilhelm, u. a., 2011). Ursprünglich für die Unterstufe konzipiert, bietet er ein anschlussfähiges, lernförderliches Unterrichtskonzept für Schülerinnen und Schüler für den Mechanikunterricht in allen Schulstufen.

Aufbauend auf der Sachstruktur des Münchner Mechanikkurses, wurde ein Luftkissengleiter entwickelt, welcher durch Reibungsreduktion, Bewegungen in einer zweidimensionalen Ebene in Kombination mit einer gleichförmigen Beschleunigung und einer frei wählbaren Anfangsgeschwindigkeit ermöglicht.

Diese Diplomarbeit besteht aus drei Teilen.

Teil I dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung des Luftkissengleiters und umfasst die Punkte 2 bis 9.

Unter Punkt 2 werden häufige Schülervorstellungen bezüglich der Mechanik umrissen, um anschließend, in Punkt 3 den Münchner Mechanikkurs näher zu beleuchten. Punkt 4 stellt die Notwendigkeit eines Unterrichtsmaterials zur Realisierung einer zweidimensionalen Bewegung für den Münchner Mechanikkurs dar.

In Punkt 5 werden theoretische Hintergrundinformationen hinsichtlich der Entwicklung eines Luftkissengleiters gegeben. Punkt 6 beschreibt die Entwicklung des Luftkissengleiters, unter welchem die Versionen 1.0 bis 7.3 in ihren Entwicklungsphasen aufgeschlüsselt sind. Unter Punkt 7 wird die Testung des Luftkissengleiters, hinsichtlich der Konstanz der Zusatzgeschwindigkeit behandelt, welche für einen Einsatz mit dem Münchner Mechanikkurs Voraussetzung ist. Mögliche

Experimente, aber auch Grenzen des Luftkissengleiters, werden unter den Punkten 8 und 9 erörtert. Unter Punkt 9 finden sich zudem noch erwünschte Verbesserungen bezüglich der Konstruktion des Luftkissengleiters, welche in einer möglichen Fortführung des hier präsentierten Projektes umgesetzt werden könnten.

Teil 2 behandelt in den Punkten 10 bis 13 die Erhebung von ExpertInnenmeinungen zur Eignung des Luftkissengleiters für den Münchner Mechanikkurs.

Unter Punkt 10 werden die Ziele und Forschungsfragen formuliert. Die Diskussion für die Eignung der Methode findet sich in Punkt 11, während Punkt 12 die gewählte Methode des teilstrukturierten Interviews genauer ausführt. Es werden die Induktions- und Interviewphase erläutert und die Stichprobe analysiert. Weiteren die Analyse der Stichprobe. In Punkt 13 sind schließlich die Ergebnisse der Interviews zusammengefasst.

In Teil III werden Schlüsse aus den, in den Teilen I und II gewonnenen, Erkenntnissen gezogen.

Unter Punkt 14 werden die Erkenntnisse aus der Entwicklungsphase theoriegeleitet reflektiert. Punkt 15 widmet sich der Beantwortung der Forschungsfragen. Hier wird im Speziellen auf die, in der Diskussion behandelten, Argumente der Lehrerinnen und Lehrer Bezug genommen.

Abschließend findet sich unter Punkt 16 der Ausblick, in welchem eine mögliche Weiterführung der Forschung bezüglich des Luftkissengleiters beschrieben wird.

# Teil I

## Entwicklung eines Luftkissengleiters

Teil 1 zeigt Lernschwierigkeiten in der Mechanik und die Überlegenheit eines zweidimensionalen Einstieges in die Mechanik gegenüber traditionellen Konzepten auf. Es wird das Konzept des Münchner Mechanikkurses vorgestellt und die Entwicklung eines Luftkissengleiters hierfür legitimiert. Teil 1 dokumentiert darüber hinaus die Entwicklungsarbeit des Luftkissengleiters, nennt mögliche Experimente mit dem Luftkissengleiter und zeigt Probleme und Grenzen desselben auf.

### **2. Lernschwierigkeiten in der Mechanik**

Dieses Kapitel beschreibt Schülervorstellungen als Quelle für Lernschwierigkeiten in der Mechanik. Es stützt sich maßgeblich auf Beiträge von Wodzinski in Müller, Wiesner, Hopf, & Wodzinski (2011, S. 108 ff) und Wiesner in Müller u. a. (2011, S. 114 ff) Einführend wird der Einfluss von Schülervorstellungen auf das Physiklernen betrachtet, um anschließend speziell die Präkonzepte des Kraftbegriffs, der Kinematik und des Zusammenhangs zwischen Bewegung und Kraft zu beleuchten. Die Begriffe Schülervorstellung, Alltagsvorstellung und Präkonzept werden in diesem Text, in Anlehnung an Jung (1986, S. 2), als ident betrachtet.

Als Grund für Lernschwierigkeiten in naturwissenschaftlichen Fächern werden in der Literatur (Duit, 1993, S. 5; Jung, 1986, S. 2) vor allem Schülervorstellungen genannt. Schülerinnen und Schüler haben in verschiedenen Bereichen Vorerfahrungen, welche sie durch Alltagserfahrungen konstruieren. Mit Hilfe dieser Alltagserfahrungen erklären sich die Lernenden naturwissenschaftliche Phänomene selbst und konstruieren so individuelle Konzepte (Schülervorstellungen). Heran-Dörr (2012, S. 7) führt aus, „[...] dass sich das naturwissenschaftliche Denken vom Alltagsdenken zum Teil erheblich unterscheidet“. Schülerinnen und Schüler kommen demnach mit individuellen Konzepten zur Erklärung von Phänomenen in den Unterricht, welche zum Teil stark von den naturwissenschaftlichen Erklärungen abweichen (Jung, 1986, S. 2). Diese Alltagskonzepte der zu Unterrichtenden erweisen sich als sehr stabil. Selbst wenn vorerst die physikalisch korrekten Sichtweisen angenommen werden, so zeigt sich

immer wieder, dass Schülerinnen und Schüler in ihre alten Denkmuster zurückfallen (Jung, 1986, S. 5). Wodzinski (2006, S. 8) erwähnt auch, dass fehlerhafte Alltagskonzepte mit physikalisch korrekten Sichtweisen vermischt und so neue Schülervorstellungen konstruiert werden.

Schülervorstellungen haben einen großen Einfluss auf den Unterricht und bestimmen das Lernen. Schülerinnen und Schüler versuchen neue Informationen im Kontext der bereits vorhandenen Konzepte zu erklären wodurch Neues „gefärbt“ wahrgenommen wird (Duit, 1993, S. 5). Als Beispiel führt Duit ein Experiment eines Glühdrahtes an: Die Lernenden sollen beobachten, an welcher Stelle ein Glühdraht zu glühen beginnt, wenn der Stromkreis geschlossen wird. Aufgrund von Alltagsvorstellungen antizipieren die Schülerinnen und Schüler den Ausgang des Experiments und beobachten unterschiedliche initiale Glühstellen. Duit (1993, S. 5) führt weiter aus *„[...] daß [sic] Schüler bei Experimenten das sehen, was sie sehen „wollen“, oder – etwas präziser ausgedrückt – was ihnen ihre Vorstellungen zu sehen erlauben.“*. So wie die Experimente, nehmen Schülerinnen und Schüler auch den Unterricht individuell und vor dem Hintergrund ihrer Vorstellungen wahr. Duit (1993, S. 6) und Jung (1986, S. 2) ziehen daraus den Schluss, dass erst dann ein gewinnbringender Unterricht stattfinden kann, wenn die Lehrperson die Schülervorstellungen der Schülerinnen und Schüler kennt, und diese im Physikunterricht dementsprechend berücksichtigt.

Speziell die für den Mechanikunterricht relevanten Präkonzepte werden in der Literatur (Müller u. a., 2011, S. 108 ff; Wiesner, Schecker, & Hopf, 2011, S. 38 f) in drei Gruppen eingeteilt, welche im Nachfolgenden genauer behandelt werden:

- Schülervorstellungen zur Kinematik
- Kraftvorstellungen
- Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung

## **2.1. Schülervorstellungen zur Kinematik**

Wodzinski in Müller u. a. (2011, S. 108 f) führt aus, dass sich der physikalische Blickpunkt von Alltagsbegriffen bezüglich der Kinematik in drei wesentlichen Punkten unterscheidet:

1. Die Begriffe Bewegung und Ruhe sind für Schülerinnen und Schüler voneinander zu trennen, da Bewegung und Bewegtheit als eine innere Eigenschaft von

Körpern gesehen wird. Die naturwissenschaftliche Betrachtungsweise sieht Bewegung allerdings relativ zu Bezugssystemen oder Körpern, weshalb Ruhe als ein Spezialfall von Bewegung betrachtet wird.

2. Während für die Physik die Bewegung als Änderung des Ortes im Fokus steht, steht für Schülerinnen und Schüler das „Ursachendenken“ stark im Mittelpunkt. *„Bittet man Schülerinnen und Schüler, Bewegungen zu beschreiben, so beschreiben sie häufig die Ursachen, warum sich etwas bewegt.“* (Wodzinski in Müller u. a., 2011, S. 108).
3. Schülerinnen und Schülern weisen Bewegungen Eigenschaften wie „kurvig“, „schnell“ oder „langsam“ zu und beschreiben Bewegungen damit aus einer ganzheitlichen Sichtweise. Änderungen von Bewegungsrichtung oder Tempoänderungen werden somit ausgespart. *„Bewegung sind für sie [Anm.: die Schülerinnen und Schüler] der Bewegungsablauf als Ganzes“* (Wodzinski in Müller u. a., 2011, S. 108 f). Die physikalische Betrachtung von Bewegungen hingegen weist jedem Körper zu jedem Zeitpunkt eine Bewegung zu. Wodzinski in Müller u. a. (Müller u. a., 2011, S. 109) erwähnt des Weiteren, dass:

*„Die übliche Kategorisierung von Bewegungsabläufen z. B. in gleichförmige Bewegungen, gleichmäßig beschleunigte Bewegungen, lineare Bewegungen und Kreisbewegungen unterschützen eher die ganzheitliche Sichtweise von Bewegungen als Bewegungsmuster und lenken dadurch von der dynamischen Betrachtungsweise mit der Konzentration auf momentane Bewegungsänderungen ab.“*

Eine Quelle für Schülervorstellungen, welche in der Literatur (Wodzinski in Müller u. a., 2011, S. 109; Wilhelm & Heuer, 2002, S. 31) genannt wird, ist, dass im Unterricht der Richtungsbegriff nicht ausreichend behandelt wird. So haben zwei (oder mehrere) Objekte die gleiche Bewegungsrichtung, wenn sie sich auf ein gemeinsames Ziel zubewegen. Im naturwissenschaftlichen Kontext gilt das nicht.

Schülerinnen und Schüler blenden beim Begriff der Geschwindigkeit die Richtung vollständig aus und verstehen die Geschwindigkeit als Geschwindigkeitsbetrag, wie Wiesner u. a. (2011, S. 38) ausführen. Durch diese Vernachlässigung der Richtung ergibt sich auch für gleichförmige Rotationsbewegungen keine Notwendigkeit für eine Zentripetalbeschleunigung, da die Rotation, für Lernende, eine gleichförmige Bewegung darstellt.

Rotationen stellen für zu Unterrichtende, ohne ausführlicher Behandlung des Richtungsaspekts, eine Lernhürde dar. Als Beispiel nennen Wiesner u. a. (2011, S. 38) die Schülervorstellung:

*„Gibt ein Hammerwerfer nach einigen Körperdrehungen sein Sportgerät frei, so fliegt der Hammer nicht tangential weg, sondern er behält einen Teil der ihm eingeprägten Kreisbewegung bei.“*

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass Schülerinnen und Schüler Richtungen als Muster interpretieren. Wodzinski in Müller u. a. (2011, S. 109) bekräftigt dies durch den Kommentar:

*„Z. B. hat ein Körper, der sich im Kreis bewegt, im Alltagsverständnis immer die gleiche Richtung. Die Richtungspfeile werden deshalb von Schülerinnen und Schülern entsprechend kreisförmig gebogen und geben den Umlaufsinn der Bewegung an.“*

Eine weitere, durch die Alltagssprache begünstigte Schülervorstellung, stellt das Präkonzept der Beschleunigung dar. Schülerinnen und Schüler verstehen unter „Beschleunigen“ das „Schnellerwerden“, während Bewegungen mit abnehmenden Geschwindigkeitsbetrag und auch Bewegungen mit zwar konstantem Geschwindigkeitsbetrag, aber ändernder Bewegungsrichtung, für sie unbeschleunigte Bewegungen darstellen (Wiesner, Schecker, u. a., 2011).

Die physikalisch korrekte Erklärung der Beschleunigung als zweite Ableitung des Ortes nach der Zeit wird von den Schülerinnen und Schülern in seiner Komplexität oft reduziert. Dem Alltagsgebrauch entsprechend, in der man als eine beschleunigte eine schnelle Bewegung versteht, wird die Beschleunigung, von manchen Lernenden, auf die Geschwindigkeit vereinfacht (Wilhelm & Heuer, 2002, S. 34).

Zusammenfassend ist hervorzuheben, dass sowohl die Geschwindigkeit als auch die Beschleunigung von Lernenden auf ihren skalaren Anteil reduziert werden. Das heißt, dass sie den vektoriellen Charakter außer Acht lassen. Durch die Vernachlässigung der Richtung wird auch verständlich, warum Schülerinnen und Schüler jenen Körpern eine positive Geschwindigkeit zuschreiben, welche sich in eine negative Achsenrichtung bewegen.

Wiesner u. a. (2011, S. 38) und Wilhelm und Heuer (2002, S. 29) gehen weiter auf die Entstehung dieses Präkonzeptes ein und führen die Alltagssprache als eine mögliche Quelle an. Während in der englischen Sprache die Begriffe „speed“ als Geschwindigkeitsbetrag und „velocity“ als Geschwindigkeitsvektor im Alltag verwendet werden, gibt es in der deutschen Alltagssprache keine entsprechende Trennung. Für den

Unterricht bietet sich eine Einführung des Begriffs „Tempo“ für den skalaren Anteil der Geschwindigkeit an um so den Schülerinnen und Schülern der Unterschied zwischen Skalaren und Vektoren zu verdeutlichen (Wiesner, Schecker, u. a., 2011, S. 38).

## 2.2. Kraftvorstellungen

Für Lernende stellt der Kraftbegriff eine wesentliche Hürde für das Verständnis der klassischen Mechanik dar. Schecker in Müller u. a. (2011, S. 148 f) führt aus, dass für Lernende „Kraft“ als Clusterbegriff für Energie, Impuls und Newtonsche Kraft gilt, während in der Physik diese Begriffe inhaltlich klar voneinander getrennt werden. *„Die Schüler sind sich der prinzipiellen Unterschiede der Begriffssysteme der Physik und der Alltagswelt nicht bewußt [sic] und meinen, man könne „Kraft“ in unterschiedlichen Zusammenhängen verwenden.“* (Schecker in Müller u. a., 2011, S. 148). Die lebensweltliche Verwendung des Kraftbegriffs stellt somit eine Quelle für Lernschwierigkeiten dar und fördert im Weiteren Schülervorstellungen.

Schülerinnen und Schüler schreiben Körpern oder Systemen „Kraft“ als Eigenschaft zu, welche in denen gespeichert ist. Dieses Präkonzept wird, wie Jung (1986, S. 5) darstellt, vor allem durch die Alltagssprache konstruiert und nennt als Beispiel die Aussage: *„Ich hab’ mehr Kraft“*. Hier wird einer Person Kraft als eine Eigenschaft oder als Substanz zugeordnet, welche sie gegen etwas oder jemanden einsetzen kann. Aus der Alltagssprache kennt man auch den Satz: *„Ich habe keine Kraft mehr.“*, als einen Ausdruck für Erschöpfung, wenn die einer Person zur Verfügung stehenden Kraft „aufgebraucht“ ist. Für Schülerinnen und Schüler können nun Systeme Kräfte haben, auch ohne sie auszuüben beziehungsweise sie dosiert einzusetzen (Wodzinski in Müller u. a., 2011, S. 108). Als ein weiteres Beispiel nennt Wiesner in Müller (2011, S. 114) die *„Kraft des Balles beim Hochsteigen“*, wo einem Objekt eine Kraft zugeschrieben wird. Als Erklärung für die Vorstellung des *„Kraftverlustes“* beim Hochsteigen nennt Schecker in Müller (2011, S. 149) Konzepte, welche die Kraft  $F$  als  $\vec{F} = m \cdot \vec{v}$  anstatt von  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  beschreiben. In diesem Fall wird der Kraftbegriff als Impuls verwendet.

Eine bereits angesprochene Schülervorstellung ist die Vorstellung, dass ein System die Fähigkeit besitzt Kraft zu speichern und zu besitzen ohne sie auszuüben. Hier verwenden Lernende den Kraftbegriff als ein Synonym für den physikalischen

Energiebegriff. Als Beispiel kann hier eine vorgespannte Feder genannt werden, bei welcher die potenzielle Energie von den zu Unterrichtenden als gespeicherte Kraft interpretiert wird.

Kraft wird von Schülerinnen und Schülern bei Wechselwirkungsprozessen als Kraftstoß interpretiert, da sie für die Lernenden etwas Übertragbares darstellt. Aufbauend auf die Substanzvorstellung und der Fähigkeit des Systems die Kraft dosiert abzugeben, sehen manche Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, einen gewissen Anteil der körpereigenen Kraft auf einen Wechselwirkungspartner übertragen zu können. Exemplarisch verweist Wodzinski in Müller u. a. (2011, S. 110) auf eine Studie von Steinberg, Clement und Brown (1990). In dieser Studie stimmte die überwiegende Mehrheit (65%) der befragten High-School-Students dem Satz: *„Der Queue überträgt Kraft auf die Billardkugel.“*, zu.

Für Schülerinnen und Schüler stellt die Trägheit eines Körpers oftmals eine Gegenkraft im Sinne der Statik dar. Laut Lernenden spürt man beim Ziehen eines Gegenstandes eine Kraft auf die Hand in entgegengesetzter Richtung (Wiesner, Schecker, u. a., 2011, S. 38 f). Wiesner in Müller u. a. (2011, S. 116) beschreibt hierzu, dass durch die Einführung in die Mechanik über den statischen Kraftbegriff bestimmte Schülervorstellungen hervorgerufen werden und führt weiter aus:

*„In der Statik interessiert man sich vor allem für die am gleichen Körper angreifenden Kräfte und ob sich diese in ihrer Wirkung gegenseitig kompensieren. Dieses in der Statik eingeübte Denkmuster wird dann in der Dynamik so auf die Reaktionskraft übertragen, daß [sic] eine Art Trägheitsgegenkraft vorgestellt wird.“*

Für beschleunigte Bewegungen ergibt sich laut dieser Schülervorstellung, dass die Reaktionskraft kleiner als die Aktionskraft sein muss (Wiesner in Müller u. a., 2011, S. 115).

Eine weitere gängige Schülervorstellung beschreibt die Unterscheidung zwischen „aktiven“ und „passiven“ Körpern. Kräfte können, laut diesem Präkonzept, nur von aktiven Körpern ausgeübt werden (Wiesner, Schecker, u. a., 2011, S. 39). *„Wird ein Ball an der Wand reflektiert, dann übt für die meisten Befragten, die Wand keine Kraft aus.“* (Wiesner in Müller u. a., 2011, S. 115). Hier wird der Ball von den Schülerinnen und

Schülern als ein aktiver Körper gesehen, der sich an der Wand (passiver Körper) abstößt.

### 2.3. Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung

Schülerinnen und Schüler schreiben bewegten Körpern, aufgrund ihrer Geschwindigkeit, Kraft zu. Diese zugeschriebene Kraft ist umso höher, je schneller sich ein Körper bewegt ( $\vec{F} \sim \vec{v}$ ). So, wie bei der „Substanzvorstellung“, wird der Kraftbegriff hier als Impuls verwendet. Als Quelle für diese Schülervorstellung nennt Wodzinski in Müller u. a. (2011, S. 111) den Gedankengang:

*„Kraft bewirkt Bewegung, und zwar je größer die Kraft, desto schneller die Bewegung. Aber man kann auch umgekehrt argumentieren: Ein Körper, der sich bewegt, kann etwas bewirken, d. h. er hat Kraft, und zwar umso mehr, je schneller er sich bewegt.“*

Eine weitere bewegungsbezogene Schülervorstellung ist, dass sich Körper immer in Richtung der angreifenden Kraft bewegen. Befindet sich ein Körper in einem Gravitationsfeld, so wirkt auf diesen eine ständige Beschleunigung und folglich auch eine Kraft. Für Schülerinnen und Schüler wirkt jedoch auf Gegenstände beim senkrechten Wurf beim Aufstieg eine Kraft in Bewegungsrichtung (oben). Am höchsten Punkt (Umkehrpunkt) wirkt keine Kraft, während beim senkrechten Weg zurück die Kraft wieder proportional zur Geschwindigkeit steigt und nach unten weist (Wiesner in Müller u. a., 2011, S. 115). In Kombination mit der oben beschriebenen Substanzvorstellung ergibt sich:

*„Die antreibende Kraft wird während der Bewegung verbraucht: Ein nach oben oder schräg geworfener Körper fällt auf den Erdboden zurück, weil die ihm durch den Wurf mitgegebene Antriebskraft sich aufbraucht.“* (Wiesner in Müller u. a., 2011, S. 115).

Auf diese Vorstellung baut ein weiteres Präkonzept auf. In einer Situation, in welcher keine Kräfte auf einen Körper wirken, gibt es auch keine resultierende Bewegung. Das bedeutet in weiterer Folge: *„Ist die Summe aller einwirkenden Kräfte null, bewegt sich der Körper nicht.“* (Wiesner, Schecker, u. a., 2011, S. 39).

Eine besondere Schwierigkeit für Lernende stellen Kreisbewegungen dar. So schreiben Lernende Rotationsbewegungen eine nach außen weisende Fliehkraft (Zentrifugalkraft), als Kompensation zu der nach innen zeigenden Zentripetalkraft, zu. Wiesner in Müller u. A. (2011, S. 116) bemerkt in seinem Beitrag, dass für Schülerinnen und Schüler die Zentripetalkraft durch die Zentrifugalkraft kompensiert werden muss, da sich sonst der Körper radial nach innen bewegen würde. Exemplarisch verdeutlicht Wiesner in Müller u. A. (2011, S. 116) die Schülervorstellung wie folgt: „Dies wird oft in Analogie zu einem an einer Feder hängenden Körper gesehen, der sich im Gleichgewichtszustand nicht in Richtung auf die gespannte Feder bewegt, da  $F_G$  dieser entgegen wirkt.“ Für die Lernenden muss es demnach eine nach außen ziehende Zentrifugalkraft ( $F_G$ ) geben, welche das Zusammenziehen dieser Feder verhindert.

### **3. Ein zweidimensionaler Einstieg in die Mechanik**

In Hinblick auf Fehlvorstellungen haben mehrere Untersuchungen gezeigt, dass sich der Zugang zur Mechanik über eine zweidimensionale Betrachtungsweise besser eignet als der traditionelle, eindimensionale Zugang. Als Studien hierzu lassen sich Jung, Horst & Schwedes (1977), Wodzinski (1996) und Tobias, Waltner, Hopf, Wilhelm, Wiesner (2010) nennen.

Aufbauend auf einen Unterrichtsgang von Jung (1980) und einer Überarbeitung von Wodzinski (1996), wurde ein Unterrichtskonzept mit einem Begleitheft (Wiesner, Wilhelm, u. a., 2011) und einem Lernheftchen für Schülerinnen und Schüler (Hopf, Wilhelm, Waltner, Tobias, & Wiesner, 2011) entwickelt.

Ein besonderes Augenmerk wurde auf die einfache Herstellung von Stroboskopaufnahmen gelegt, sodass auch komplexe Bewegungen analysiert werden können (Wiesner u. a., 2010, S. 10). Dieses Konzept entstand in Zusammenarbeit der Universität Wien, der Universität Würzburg und der Ludwig-Maximilian Universität München und wird nachfolgend als *Münchner Kurs* referenziert.

#### **3.1. Aufbau des Münchner Kurses**

Das Lernheftchen (Hopf u. a., 2011) für die Schülerinnen und Schüler ist in folgende Kapitel aufgeteilt. Das Lernheftchen ist so konzipiert, dass die Kapitel nacheinander abgearbeitet werden, ohne Kapitel oder Unterkapitel zu überspringen.

1. Aufgabenstellung der Mechanik
2. Die Beschreibung und Darstellung von Bewegungen
3. Wie schnell? Wohin?
  - 3.1. Tempo
  - 3.2. Richtung
  - 3.3. Geschwindigkeit
4. Die Zusatzgeschwindigkeit
  - 4.1. Zusatzgeschwindigkeit als Folge einer Einwirkung
  - 4.2. Konstruktion der Endgeschwindigkeit
  - 4.3. Konstruktion der Zusatzgeschwindigkeit
  - 4.4. Sonderfall: Eindimensionale Bewegung
5. Die Newtonsche Bewegungsgleichung
  - 5.1. Einwirkung und Zusatzgeschwindigkeit
  - 5.2. Einwirkungsdauer und Zusatzgeschwindigkeit
  - 5.3. Masse und Zusatzgeschwindigkeit
  - 5.4. Die Newtonsche Bewegungsgleichung
6. Anwendung der Newtonschen Bewegungsgleichung
  - 6.1. Alltagsanwendung
  - 6.2. Das Beharrungsprinzip
7. Das Wechselwirkungsprinzip
8. Kraftarten
  - 8.1. Gravitationskraft
  - 8.2. Magnetische Kraft
  - 8.3. Elektrische Kraft
  - 8.4. Reibungskraft
9. Wenn mehrere Kräfte wirken
  - 9.1. Kraftpfeile aneinander hängen
  - 9.2. Kräftegleichgewicht

Im Zentrum des Kurses steht der Vektorcharakter von Bewegungen und Kräften. Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft werden explizit durch eine Richtung und einem Betrag ausgedrückt.

Wie in Punkt 2.1. „Schülvorstellungen zur Kinematik“ ausgeführt, spielt die

Alltagssprache eine wesentliche Rolle für das Verständnis der Schülerinnen und Schüler. Aus diesem Grund wurde der Begriff *Tempo*, ähnlich wie im angloamerikanischen Sprachraum *speed*, als Geschwindigkeitsbetrag verwendet.

Die *Geschwindigkeit* eines Körpers setzt sich demnach aus einem *Tempo* und einer *Bewegungsrichtung* zusammen. Für die Kraft (*Einwirkung*) ergibt sich ein Paar aus *Einwirkungsstärke* (Betrag) und *Einwirkungsrichtung* (Richtung).

Zwei weitere, wesentliche Begriffe, im Münchner Kurs sind *Einwirkung* und *Zusatzgeschwindigkeit*. Diesen wird in einem eigenen Kapitel des Lernheftes besondere Aufmerksamkeit geschenkt (Hopf u. a., 2011, S. 10). Die Zusatzgeschwindigkeit  $\Delta\vec{v}$  bezeichnet, als Geschwindigkeitsänderung, das Argument des Zählers in der Beschleunigung, losgelöst vom Zeitintervall  $\Delta t$ . Die genaue Ausführung ist im Unterpunkt 3.2. „Kraftstoßkonzept“ zu finden. Jede Einwirkung auf ein Objekt ändert die resultierende Geschwindigkeit des jeweiligen Objekts.

*„Durch eine Einwirkung erhält ein Körper eine Zusatzgeschwindigkeit  $\Delta\vec{v}$ . Die Richtung der Einwirkung und die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit sind gleich. Die Zusatzgeschwindigkeit  $\Delta\vec{v}$  wird durch einen Pfeil dargestellt. Der Pfeil von  $\Delta\vec{v}$  zeigt von der Pfeilspitze von  $\vec{v}_A$  zur Pfeilspitze von  $\vec{v}_E$ “ (Hopf u. a., 2011, S. 13)*

Das Lernheftchen für Schülerinnen und Schüler arbeitet bei Erklärungen gezielt mit den Begriffen „Einwirkung“, „Zusatzgeschwindigkeit“ und „Tempo“. So lautet beispielsweise ein Auszug:

*„Franziska übt Tischtennis, aber oft fliegt der Ball ganz anders als geplant. Franziska überlegt: Wenn sie mit dem Tischtennisschläger den Ball trifft, ändert sie durch diese Einwirkung seine Bewegung, denn die Einwirkung fügt zur Anfangsgeschwindigkeit  $\vec{v}_A$  des Balls eine Zusatzgeschwindigkeit  $\Delta\vec{v}$  hinzu. So ergibt sich die Endgeschwindigkeit  $\vec{v}_E$  des Balls. Franziska weiß auch, dass die Richtung der Einwirkung und die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit gleich sind. Damit es ihr gelingt die Platte zu treffen, muss ein bestimmter Zusammenhang zwischen Einwirkung und Zusatzgeschwindigkeit bestehen. [...] Bei stärkeren Einwirkungen ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit größer.“ (Hopf u. a., 2011, S. 17)*

### 3.2. Kraftstoßkonzept

Hinter dem Münchner Kurs steht die Überlegung, Änderungen der Richtung oder des Tempos auf Einwirkungen zurück zu führen, welche über eine gewisse Zeit mit einer gewissen Stärke wirken. Im Wesentlichen wird die, in Schulbüchern vorherrschenden Darstellung der Newtonschen Bewegungsgleichung adaptiert. Siehe nachstehende Formeln ( 1 ), ( 2 ) und ( 3 ).

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (1)$$

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (2)$$

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v} \quad (3)$$

In der Formel ( 3 ) ist die integrale Form der Newtonschen Bewegungsgleichung dargestellt, so wie sie auch in dem Lernheftchen für die Schülerinnen und Schüler (Hopf u. a., 2011, S. 20) verwendet wird. Die im Buch präsentierte Erklärung lautet:

„Die Newtonsche Bewegungsgleichung  $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$  sagt aus:

1. Wenn auf einen Körper eine Kraft  $\vec{F}$  ausgeübt wird, erhält dieser eine Zusatzgeschwindigkeit  $\Delta \vec{v}$  (d.h. die Geschwindigkeit des Körpers ändert sich).
2. Die Richtung der Kraft und die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit sind gleich.
3. Je größer die Einwirkstärke der Kraft  $\vec{F}$  ist, desto größer ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit  $\Delta \vec{v}$  (bei jeweils gleicher Einwirkungsdauer und Masse).
4. Je länger die Einwirkungsdauer  $\Delta t$  ist, desto größer ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit  $\Delta \vec{v}$  (bei jeweils gleicher Kraft und Masse).
5. Je größer die Masse  $m$  des Körpers ist, desto kleiner ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit  $\Delta \vec{v}$  (bei jeweils gleicher Kraft und Einwirkungsdauer).“  
(Hopf u. a., 2011, S. 20)

### 3.3. Kräftediagramme

Neben der qualitativen Beschreibung von Bewegungen und Einwirkungen mit der integralen Form der Newtonschen Bewegungsgleichung (Formel ( 3 )), ist die grafische Darstellung von Bewegungen ein wesentlicher Punkt im Münchner Kurs. In Abbildung 1

ist eine Darstellung aus dem Begleitband für Lehrpersonen zum Münchner Kurs (Wiesner, Wilhelm, u. a., 2011, S. 37) zu sehen.

In der Darstellung sind, mit Ventilatoren (klein und groß), beschleunigte Bewegungen zu sehen. Als Referenz der unbeeinflussten Bewegung in Abszissenrichtung ist in jedem Beispiel am oberen Rand eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit eingezeichnet. In Ordinateurichtung wird die Bewegung beschleunigt. Die Zusatzgeschwindigkeit ist in grüner Farbe eingezeichnet. Die resultierende Geschwindigkeit ergibt sich aus der Vektoraddition der Zusatzgeschwindigkeit und der unbeeinflussten Geschwindigkeit in Abszissenrichtung.

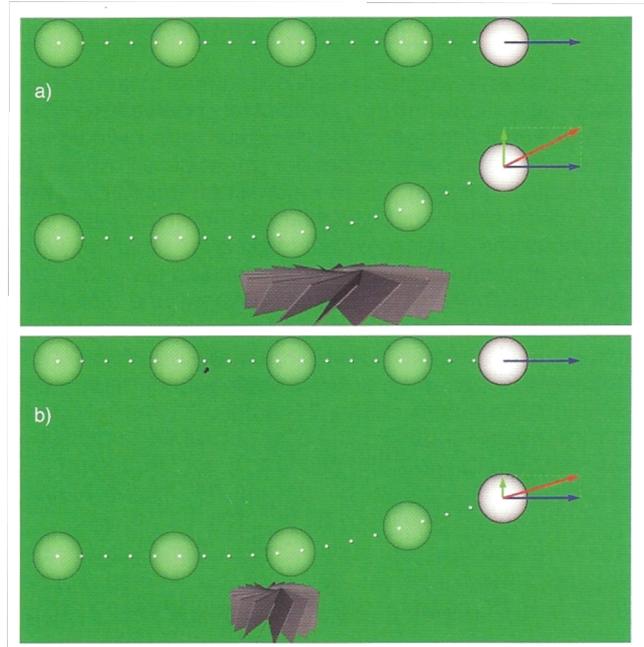


Abbildung 1: Unterschiedliche Einwirkungen bewirken unterschiedliche Zusatzgeschwindigkeiten (Wiesner u. a., 2011, S. 37).

#### 4. Ein Unterrichtsmaterial für zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegungen

Ein wesentliches Problem beim bisherigen Unterricht von gleichförmig beschleunigten Bewegungen ist der Einsatz von Gravitation als Quelle der Beschleunigung. Gleichförmig beschleunigte Bewegungen werden oftmals traditionell mit Hilfe von freiem Fall, schiefen Ebenen oder Atwoodschen Fallmaschinen vermittelt (Morse, 1993). Dabei stellt gerade die Gravitation ein wesentliches Lernhindernis dar.

*„Gravity is pervasive, acts invisibly, is not a subject to control, and is often invoked by students as a name without a well-defined concept behind it.“* (Morse, 1993, S. 436)

In seinem Artikel „Fan Unit Physics“ beschreibt Morse (2005) die sehr gute Einsetzbarkeit von propellerbetriebenen Schienenwagen für den Unterricht von

beschleunigten Bewegungen im Mechanikunterricht. Er unterstreicht dabei die Vorteile der Beschleunigung mit Propellern gegenüber der Gravitation: „*The fan unit provides a visible and audible active thrust.*“ (Morse, 2005, S. 162)

Morse verwendet für seine propellerbetriebenen Wagen Schienen, welche die Wagen auf eine geradlinige Bahn zwingen. In Hinblick auf die im Punkt 3. „Ein zweidimensionaler Einstieg in die Mechanik“ aufgezeigte Überlegenheit eines zweidimensionalen Zugangs zur Mechanik gegenüber dem eindimensionalen, wurde eine Lösung für die zweidimensionale Bewegung in einer boden-parallelen Ebene gesucht.

Ein Luftkissengleiter ermöglicht die Bewegung in zwei Dimensionen auf einer ebenen Fläche, solange die Reibung ausreichend reduziert werden kann. Durch geeignete Konstruktionsmaßnahmen, bezüglich des Luftkissengleiters, können komplexe Bewegungen in zwei Dimensionen dargestellt werden. Exemplarisch für diese komplexe Bewegungen können jene mit einer Anfangsgeschwindigkeit in Abszissenrichtung kombiniert mit einer gleichförmig beschleunigten Bewegung in Ordinatenrichtung genannt werden. Diese Bewegungen werden, bis jetzt, im Münchner Mechanikkurs grafisch, anhand von Alltagsbeispielen, und mittels Computer-Applikationen dargestellt.

Ein Luftkissengleiter mit einem aufgebauten, horizontalen Ventilator kann an unterschiedlichen Stellen des Münchner Kurses implementiert werden. Einsatzmöglichkeiten sind unter dem Punkt 8. „Mögliche Experimente“ und 14. „Diskussion der Ergebnisse“ zu finden.

Der Münchner Kurs, in seiner aktuellen Version, hält sich strikt an das Lernheftchen (Hopf u. a., 2011) für Schülerinnen und Schüler. Es kommen viele Abbildungen und Computer-Applikationen vor, wodurch viele alltagsnahe Beispiele genannt und behandelt werden. In 13.1. „Eignung für den Münchner Kurs“ führen Lehrpersonen an, dass Schülerexperimente, ihrer Meinung nach, im Münchner Kurs fehlen. Der Luftkissengleiter bietet mit einem physischem Objekt ein „Hands-On-Experiment“, welches den Münchner Kurs an mehreren Stellen erweitert.

## 5. Theorie eines Luftkissengleiters

### 5.1. Funktionsweise eines Luftkissengleiters

Luftkissengleiter, in der Literatur auch als Hovercraft oder Luftkissenfahrzeug (Dudszus, Henriot, Köpcke, & Krumrey, F, 1998, S. 210; Yun & Bliault, 2000) bezeichnet, sind Fahrzeuge, welche sich auf verschiedenen Untergründen bewegen können. Diese Fähigkeit wird durch ein Luftkissen ermöglicht, welches unterhalb des Fahrzeuges ausgebildet wird. Dadurch ist es für Luftkissengleiter möglich sich zu Wasser und zu Land auf unterschiedlichen Untergründen fortzubewegen. Diese Eigenschaften machen Luftkissengleiter zu vielfältig einsetzbaren Transportfahrzeugen. Aus diesem Grund werden Luftkissengleiter für Passagiertransporte, als Forschungsfahrzeuge oder als Lasttransporter verwendet, um auch schwer zugängliche Gebiete zu erreichen (Yun & Bliault, 2000, S. 43ff).

Luftkissengleiter bestehen, wie in Abbildung 2 dargestellt, im Wesentlichen aus: horizontalen Antriebsturbinen (1), vertikalen Turbinen (3), um die Ausbildung des Luftkissens zu ermöglichen und einer flexiblen Schürze (4). Der Luftstrom (2) ist in der Abbildung 1 mit blauen Pfeilen gekennzeichnet. Für Ausführungen wird in dieser Arbeit der Luftkissengleiter aus Gründen der Übersichtlichkeit in einen Aufbau und einen Unterbau unterteilt (siehe Abbildung 2). Der Aufbau besteht aus der Steuereinheit (alle, für die Steuerung notwendigen Instrumente und Technik) und dem horizontalen Antrieb. Die vertikalen Turbinen und die Schürze werden als Unterbau bezeichnet.

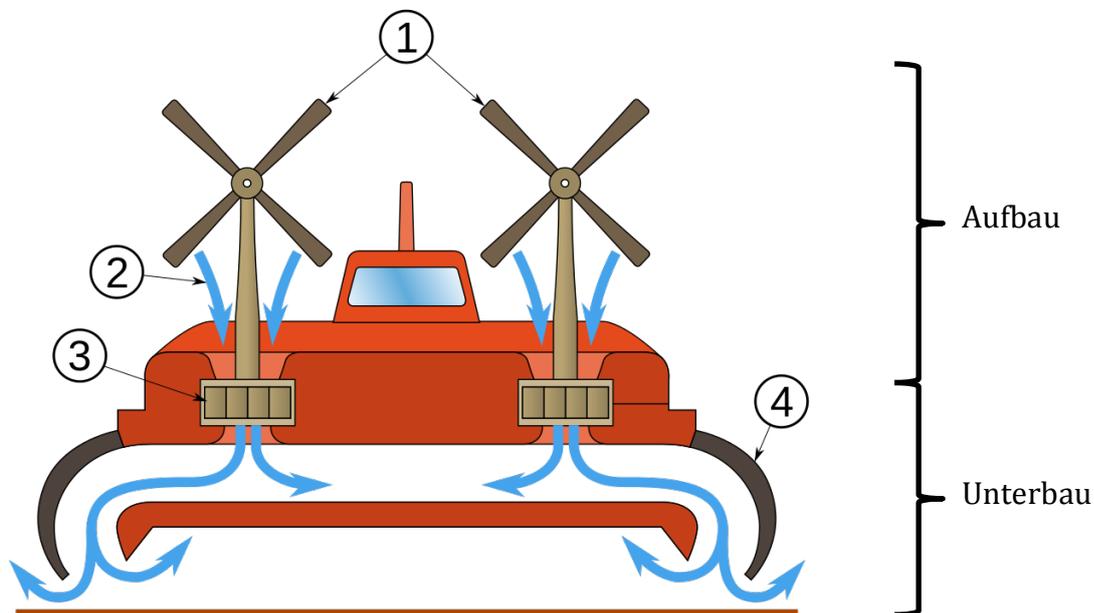


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Luftkissengleiters. (wikimedia.org, Zugriff am 16.10.2016).

Die vertikalen Turbinen (Abbildung 2, (3)) blasen Luft unter den Luftkissengleiter. Durch den so entstandenen Überdruck unterhalb der Schürze, hebt sich der Luftkissengleiter von der Oberfläche ab, indem sich eine spezielle Schürze aus flexiblem Planenmaterial mit Luft füllt. Der Gleiter wird soweit vom Untergrund abgehoben, dass nur mehr die elastische Schürze Kontakt zum Boden besitzt. Zwischen der Schürze und dem Boden entweicht, über den gesamte Rand gleichmäßig verteilt, ein kontinuierlicher Luftstrom, welcher durch einen dünnen Spalt nach außen dringt. So bildet sich ein dünner Luftpolster aus und die Reibung zwischen Untergrund und Schürze wird stark vermindert.

## 5.2. Physik eines Luftkissengleiters

Die Massenverteilung auf Luftkissengleitern spielt für die Reibung an den einzelnen Randabschnitten eine wesentliche Rolle. In Abbildung 3 sind beispielhaft die Kompensationskräfte bei mittiger bzw. außermittiger Massenverteilung im zweidimensionalen Fall skizziert. Die Masse des schraffierten Unterbaus wird hierbei vernachlässigt. Bei optimaler (mittiger) Ladungsverteilung treten betragsmäßig gleich große Kompensationskräfte entlang des Randes auf.

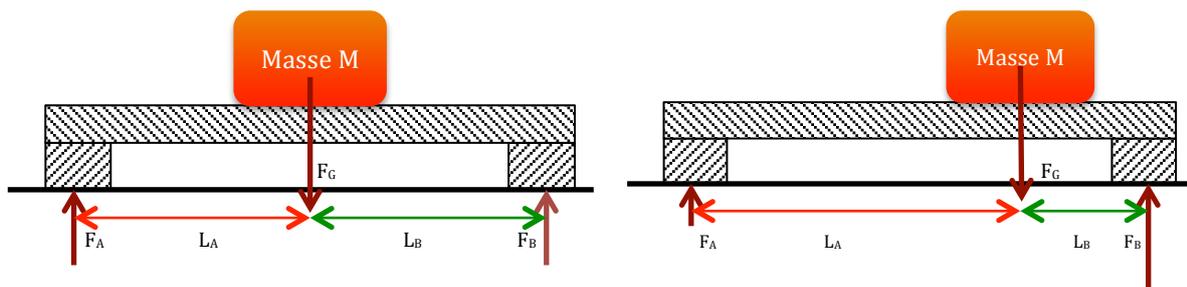


Abbildung 3: Auswirkungen der Masseverteilung auf die Kompensationskräfte.

Die Verteilung der Kompensationskräfte ist umgekehrt proportional zum Verhältnis der Abstände  $\vec{L}_A$  und  $\vec{L}_B$  (Siehe Formel ( 4 )).

$$\frac{|\vec{L}_A|}{|\vec{L}_B|} = \frac{|\vec{F}_B|}{|\vec{F}_A|} \quad (4)$$

Bei mittlerer Massenverteilung ergibt sich durch gleiche Beträge der Längen  $\vec{L}_A$  und  $\vec{L}_B$  ein Kräfteverhältnis von 1. Die Kompensationskräfte von  $\vec{F}_A$  und  $\vec{F}_B$  haben in diesem Fall denselben Betrag. Bei außermittigen Masseverteilungen ergibt sich, wie in Abbildung 3 rechts ersichtlich, ein ungleiches Verhältnis der Längen  $\vec{L}_A$  und  $\vec{L}_B$ . Es resultieren, nach dem obigen Zusammenhang (Formel ( 4 )), betragsmäßig ungleich große Kräfte  $\vec{F}_A$  und  $\vec{F}_B$ .

Die, während des Betriebes resultierende, *Reibungskräfte*  $\vec{F}_{RA}$  und  $\vec{F}_{RB}$  an den Randabschnitten ist neben den Kompensationskräften  $\vec{F}_A$  oder  $\vec{F}_B$  auch vom *Gleitreibungskoeffizienten*  $\mu$  abhängig (Formel ( 5 ) und ( 6 )).

$$|\vec{F}_{RB}| = |\vec{F}_A| \cdot \mu \quad (5)$$

$$|\vec{F}_{RA}| = |\vec{F}_B| \cdot \mu \quad (6)$$

Der Gleitreibungskoeffizient  $\mu$  ergibt sich aus der Materialpaarung der Schürze des Luftkissengleiters und dem Untergrundmaterial, auf welchem sich der Hovercraft bewegt. Der Gleitreibungskoeffizient ist eine dimensionslose Größe (siehe Formel ( 5 ) und ( 6 )), die für die Materialpaarung Gummi-Beton 0,8 und für Gummi-Eis nur 0,15 beträgt (Wick, 2013, S. 42).

Außermittige Massenverteilungen (Formel ( 4 )  $\rightarrow (|\vec{F}_A| \neq |\vec{F}_B|)$ ) und die daraus resultierenden ungleichen Reibungskräfte ( $|\vec{F}_{RA}| \neq |\vec{F}_{RB}|$ ) führen zu unerwünschten Bewegungen. Eine erhöhte Reibung auf einer Seite, würde, in einer vorwärts angetriebenen Bewegung, zu einer Drehung auf die jeweilige Seite resultieren.

Ab einer gewissen Größe verfügen Luftkissengleiter über mehrere, vertikal ausgerichtete Turbinen, welche Luft in die Schürze blasen (Hovercraft Museum, 2010). Der Unterbau selbst ist mit mehreren Abteilungen ausgestattet, die wiederum getrennt voneinander von den vertikalen Antrieben mit Luft gespeist werden können (siehe Abbildung 4).

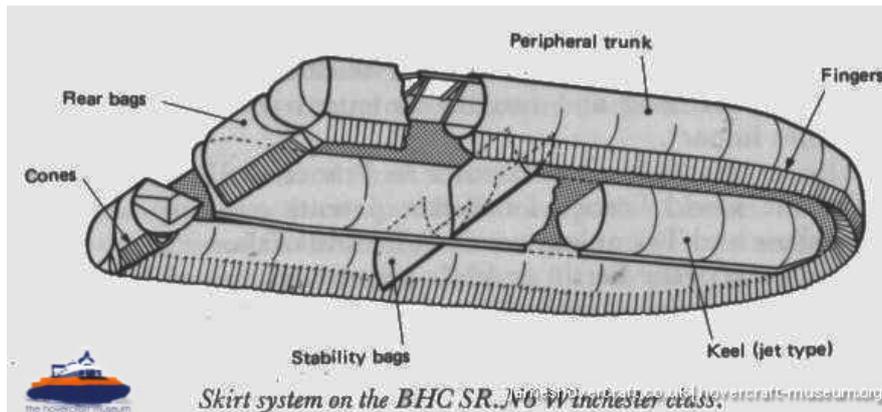


Abbildung 4: Getrennte Abteilungen eines SR No.6 Luftkissenfahrzeuges der Winchesterklasse. Hersteller: British Hovercraft Cooperation (jameshovercraft.co.uk, Zugriff am 7.11.2016).

Dadurch kann gezielt die Reibung an spezifischen Stellen des Luftkissenfahrzeuges erhöht oder erniedrigt werden. Durch diese Eigenschaft werden ungleiche Masseverteilungen (durch Beladung) und somit Reibungsunterschiede an den Segmenträndern des Gleiters ausgeglichen.

Die Abdichtung der Schürze gegenüber der Untergrundoberfläche wird mittels unterschiedlichen Schürzengeometrien realisiert. Für den Einsatz für Luftkissenfahrzeuge eignen sich, in einer groben Einteilung, folgende beide Schürzenformen (Amyot, 1990, S. 169ff). In Abbildung 5 ist eine schematische Darstellung einer Taschenschürze und in Abbildung 6 eine schematische Darstellung einer Fingerschürze ersichtlich.

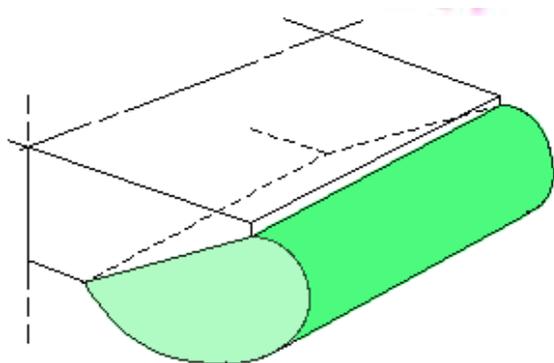


Abbildung 5: Taschenschürze (arsp.sojou.ac.jp, Zugriff am 7.11.2016).

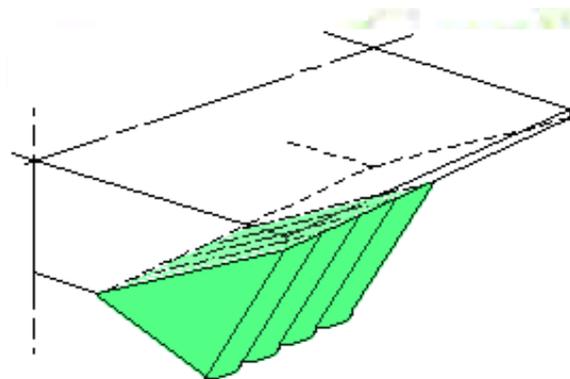


Abbildung 6: Fingerschürze (arsp.sojou.ac.jp, Zugriff am 7.11.2016).

Taschenschürzen bieten im Betrieb eine bessere Stabilität als Fingerschürzen. Fingerschürzen hingegen sind, bei nautischem Betrieb, für höhere Wellen, besser

geeignet als Taschenschürzen und bieten die Möglichkeit einzelne Segmente bei Beschädigungen auszutauschen. (Amyot, 1990, S. 169 ff)

Diese beiden Hauptkategorien für Schürzenformen (Taschen- und Fingerschürzen) stehen nur exemplarisch für zwei Ansätze zur Gestaltung eines effizienten Betriebes von Luftkissenfahrzeugen. In der Praxis lassen sich viele verschiedenen Hybridformen von Taschen- und Fingerschürzen finden um die Vorteile beider nutzen zu können (Amyot, 1990, S. 169 ff).

Weder die eine, noch die andere Schürzenform ist für den Betrieb eines Miniaturluftkissengleiters in ihrer ursprünglichen Form geeignet. Beide beschriebenen Formen verlangen einen, für Miniaturanwendungen, zu aufwändigen Aufbau.

## 6. Entwicklung eines Luftkissengleiters

### 6.1. Vorbemerkungen

Miniaturanwendungen von Luftkissenfahrzeugen werden aus Platzgründen oftmals nur mit einem vertikalen Antrieb ausgestattet. Dadurch fehlt die Möglichkeit die Reibung an den Rändern des Gleiters zu beeinflussen. Für Miniaturmodelle ist es, um die Reibung auf allen Seiten gleich zu halten, besonders wichtig, die Gesamtmasse des Hovercrafts mit Zuladung, so gut es geht, im Schwerpunkt anzuordnen (5.2. „Physik eines Luftkissengleiters“).

Das Fehlen der Abteilungen (Abbildung 4) und die damit verbundenen Einschränkungen, stehen nur exemplarisch für eine Reihe von Schwierigkeiten des „down-scaleings“, welche bei Miniaturanwendungen auftreten.

Miniaturanfertigungen, welche eine möglichst geringe Masse aufweisen sollen, sind anfällig für alltägliche Beeinflussungen wie durch Luftzug oder verunreinigten Untergrund. Bereits leichte Veränderungen des Reibungswiderstandes an nur einer Seite des Luftkissengleiters führen zu unerwünschten Einwirkungen auf die Bewegung. In dieser Arbeit werden bei Lagebeschreibungen bezüglich des Luftkissengleiters folgende Orientierungen verwendet (siehe Abbildung 7).

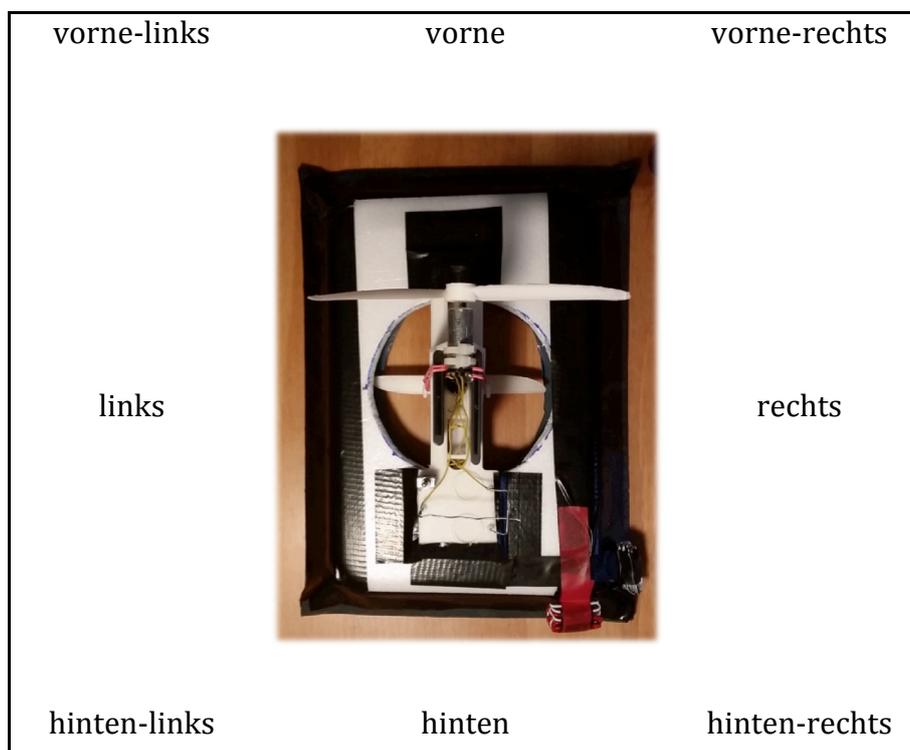


Abbildung 7: Lageschreibung bezüglich des Luftkissengleiters.

## 6.2. Version 1.0

### 6.2.1. Anforderungen

- Der Luftkissengleiter soll preiswert sein.
- Es sollen Haushaltsgegenstände verwendet werden. Diese Gegenstände sollen jedem und jeder zugänglich und kostengünstig sein.
- Die Materialien sollen massearm und einfach bearbeitbar sein.
- Der Antrieb soll mit einem möglichst leicht beschaffbaren, kostengünstigen Gleichstrommotor mit möglichst hohem Luftdurchsatz realisiert werden.

### 6.2.2. Umsetzung

Durch die Anforderungen, welche an den Motor gestellt wurden, wurden Gleichstrommotoren aus Haushaltsgeräten ins Auge gefasst. Durch die kostengünstige Beschaffbarkeit, baten sich CPU-Kühle<sup>1</sup> aus (alten) Standcomputern an. Die Betriebsspannungen von CPU-Kühler variieren zwischen 9 und 15 V, da diese von der Arbeitsspannung des jeweiligen Motherboards abhängen. Für die Version 1.0 kam ein PC-CPU-Kühler (AVC F8025) mit einer Betriebsspannung von 9 V zum Einsatz. Laut Angabe eines Händlers<sup>2</sup> beträgt der Luftdurchsatz des Kühlers bei 2450 U/min 43 m<sup>3</sup> pro Stunde. Die Spannungsversorgung wurde mit einer 9 V Blockbatterie realisiert, welche in Kombination mit einem Miniatur-Kippschalter (Typ 621C) das Ein- bzw. das Ausschalten ermöglichte. Der Schalter wurde mit Hilfe einer Kupferleiterplatte verkabelt, auf welcher auch die Kabelanschlüsse angelötet waren.

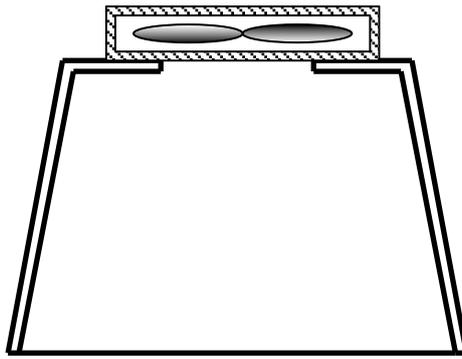
Um das passende Material für den Unterbau des Luftkissengleiters zu finden, wurden mehrere Materialien getestet. Es wurden Versuche mit einem Innenblumentopf aus Kunststoff und Modelle aus Baustyropor und Steckschaum für Blumengestecke durchgeführt.

Der Blumentopf (Höhe: 140 mm, große Öffnung: 200 mm) wurde so verwendet, dass die Öffnung nach unten zeigte und das geschlossene Ende oben war. Mit Hilfe eines Messers wurde ein kreisförmiges Einlassloch mit einem Durchmesser von 80 mm in die geschlossene Blumentopfseite geschnitten. Direkt auf diesem Einlassloch wurde der CPU-Kühler platziert und für Versuchszwecke mit Klebeband fixiert (siehe Abbildung 8).

---

<sup>1</sup> Unter einer CPU-Kühlereinheit (CPU-Kühler) wird die Luftkühlereinheit für Computerprozessoren verstanden, bestehend aus einer Motorhalterung, dem Motor und den Luftschaufeln.

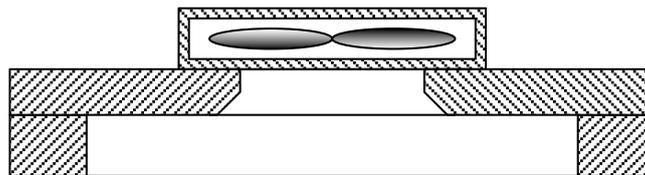
<sup>2</sup> Conrad Electronics SE ([www.conrad.at](http://www.conrad.at))



**Abbildung 8: Innenblumentopf als Unterbau  
Klebeband, Leiterplatte, Schalter und Blockbatterie sind  
nicht dargestellt.**

Die Blockbatterie und der auf die Leiterplatte gelötete Schalter, wurden auf den gegenüberliegenden Seiten des Lüfters fixiert, um eine möglichst optimale Massenverteilung zu erreichen.

Der Steckschwamm, sowie das Baustyropor wurden in zwei etwa 15 mm dicke Platten geschnitten und so zurecht geformt, dass ein Hohlraum entstand, wenn beide Platten aufeinander platziert wurden (siehe Abbildung 9).



**Abbildung 9: Baustyropor und Steckschwamm als Unterbau  
Klebeband, Leiterplatte, Schalter und Blockbatterie sind nicht  
dargestellt.**

Ebenso wie bei der beschriebenen Variante des Blumentopfs, wurde in die obere Platte ein Loch geschnitten. Die beiden Platten wurden mit einem speziellen Klebstoff (PRITT Bastelkleber) zusammengeklebt, welcher zwei Stunden, der Anleitung entsprechend, unter leichtem Druck aushärten musste.

Der CPU-Kühler wurde über dem Einlassloch platziert und mit Klebestreifen fixiert. Analog zum Blumentopf wurden auch hier die Batterie, sowie die Leiterplatte links bzw. rechts neben dem Ventilator angeordnet.

Die Abmessungen des Unterbaus der ersten Version waren 270x230 mm mit dem vertikal ausgerichteten Ventilator in der Mitte des Luftkissengleiters.

### **6.2.3. Ergebnisse**

Die Reibung zwischen der Tischoberfläche und dem Luftkissengleiter wurde, nach Aktivierung des Ventilators, bei keiner der drei Ausführungen merklich vermindert. Der Großteil der, in den Hohlraum eingeblasenen Luft, strömte wieder durch die Einlassöffnung hinaus. Ein kleiner Luftstrom entwich an Unebenheiten unter den Seitenrändern des Luftkissengleiters.

### **6.2.4. Resümee**

Keine der Varianten (Innenblumentopf, Baustyropor, Steckschwamm) führten zu einem befriedigenden Ergebnis. Der wesentliche Grund dafür war, dass der Luftdurchsatz des PC-Kühlers nicht ausreichte, um ein Luftkissen zur Reduktion der Reibung auszubilden. Trotz des unbefriedigenden Ergebnisses, ließen sich bereits, was die verwendeten Materialien für den Unterbau betraf, Handlungsanweisungen für zukünftige Versionen ableiten.

Der Innenblumentopf stellte sich als ungeeignet heraus, da durch seine Geometrie der Schwerpunkt und auch der horizontale Kraft-Angriffspunkt des Luftkissengleiters relativ hoch lag (siehe 5.2. „Physik eines Luftkissengleiters“ und Abbildung 3). Darüber hinaus war das Material schlecht zurechtschneidbar.

Der Steckschwamm war gut bearbeitbar und ließ sich leicht formen. Durch seine schwammige Struktur konnte die Oberfläche, selbst mit Fingerdruck, permanent angepasst werden. Die gute Verformbarkeit brachte allerdings auch Nachteile mit sich. Die Gleitfläche sollte so eben und verformungsresistent wie möglich sein, da hier eine möglichst homogene Abdichtung über den gesamten Rand gewünscht ist. Darüber hinaus lösten sich stets kleine Staubteilchen aus dem Schwamm, was die Verarbeitung (z.B. das Kleben) erschwerte.

Das Baustyropor eignete sich sehr gut für die Verwendung als Unterbau für einen Luftkissengleiter. Speziell für die Versuchsphase bot die geringe Masse, bei gleichzeitiger guter Verformresistenz und Bearbeitbarkeit, große Vorteile gegenüber dem Steckschwamm und dem Kunststoffblumentopf.

Wie im Punkt 6.2.3. „Ergebnisse“ beschrieben, entwich ein kleiner Luftstrom an Unebenheiten der Seitenränder, wo das Styropor (der Steckschwamm; der Blumentopf) nicht auf der Untergrundoberfläche auflag. Diese Beobachtung zeigte die Wichtigkeit

einer sich anpassenden Abdichtung auf. Wie im Punkt „Funktionsweise eines Luftkissengleiters“ erläutert, soll das Entweichen der Luft gleichmäßig und über den gesamten Rand des Gleiters passieren.

Aus der Erkenntnis, dass der Großteil der, in den Innenraum eingeblasenen, Luft wieder aus der Einlassöffnung nach oben austrat, wurde geschlossen, dass der Luftdurchsatz im Verhältnis zur Masse des Luftkissengleiters, für einen zielführenden Betrieb, zu gering war.

Die Spannungsversorgung mit einer Blockbatterie war für diesen CPU-Kühler nicht zielführend, da diese schon nach etwa 40 s Betrieb heiß wurde und die Betriebsspannung auf unter 7 V absank. Dies schlug sich auch in einer zu geringen Drehzahl des Motors und in weiterer Folge in einem zu geringen Luftdurchsatz nieder.

### **6.3. Version 2.0**

Aus dem aus der Version 1.0 gezogenen Resümee, wurden folgende Anforderungen an die neue Version gestellt:

#### **6.3.1. Anforderungen**

- Um das Verhältnis von Luftdurchsatz zur Masse des Luftkissengleiters zu verbessern, soll ein leichter CPU-Kühler verwendet werden.
- Die Abdichtung des Randes des Luftkissengleiters soll mit einer Plastikfolie realisiert werden. Durch die Verwendung dieser, kann sich ein luftgefüllter Dichtungsring ausbilden, welcher Unregelmäßigkeiten am Untergrund, sowie Fertigungsungenauigkeiten ausgleicht.
- Die Versorgungsspannung soll konstant gehalten werden und kann für Versuchszwecke ausgelagert werden.
- Verwendung von Styropor für den Aufbau.

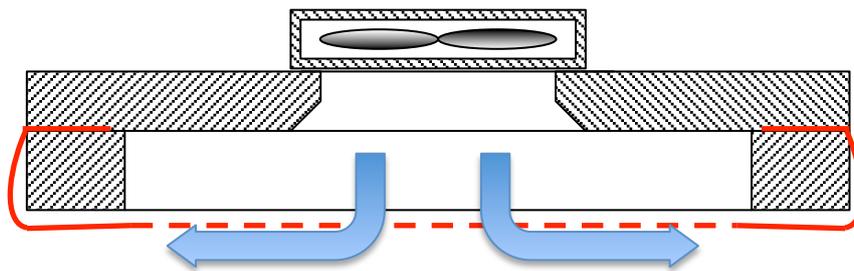
#### **6.3.2. Umsetzung**

Für die Spannungsversorgung wurde als Ersatz für die Batterie ein Netzgerät verwendet, welches eine konstante Spannung lieferte. Diese Lösung wurde gewählt, um den Entwicklungsprozess zu erleichtern. Der Stromkreis wurde mit Hilfe von isolierten

Litzenkabeln mit einem Durchmesser von  $0,05\text{mm}^2$  realisiert. Ebenso wie bei der Version 1.0, wurde ein Schaltersystem verwendet, welches auf einer Kupferplatte verlötet war.

Der neue CPU-Kühler war ein *Sourcingmap FSY25B12M* mit den Abmessungen  $25 \times 10$  mm, welcher eine Nennspannung von 12 V aufwies. Der neue CPU-Lüfter war wesentlich leichter als jener, der in Version 1.0 zum Einsatz kam und hatte zudem eine höhere Nenndrehzahl von 10.000 U/min.

Die Abdichtung der unregelmäßigen Oberfläche wurde mit einem zurechtgeschnittenen Kunststoffsack (Müllsack) realisiert, der über den Unterbau gelegt wurde (siehe Abbildung 10).



**Abbildung 10:** Schematische Schnittdarstellung der Version 2.0 Die in dieser Version ergänzte Schürze ist rot dargestellt. Die strichliert dargestellte Linie kennzeichnet die ausgeschnittene Fläche, welche den Luftstrom unter den Gleiter ermöglicht. Der Luftstrom ist schematisch mit blauen Pfeilen gekennzeichnet.

Damit sich unter der Folie ein Luftpolster ausbilden kann, benötigte der Müllsack zentral eine Öffnung. Durch diese Öffnung entwich, nach unten hin, Luft, welche den, für das Gleiten, wesentlichen Luftpolster formte. Auf diesem kann sich der Luftkissengleiter im besten Fall möglichst reibungsfrei bewegen (siehe 5.2. „Physik eines Luftkissengleiters“).

Die Form des ausgeschnittenen Loches ist für die Ausbildung eines geeigneten Luftpolsters wesentlich. In Punkt 6.4. „Zuschnittformen der Schürze“ wird genauer darauf eingegangen. Für die Version 2.0 wurden vier, etwa 10 mm breite und 60 mm lange, Schlitze nebeneinander in den Müllsack geschnitten, um so den Luftdurchsatz zu ermöglichen.

Das Styropor wurde entsprechend der Schnitt-Abbildung (Abbildung 10) zurechtgeschnitten (Abmessungen:  $250 \times 200$  mm). Durch die überarbeitete Form wurde auch hier Material und Masse eingespart.

Den größten Anteil an der Masseinsparung brachte jedoch die Verwendung des Netzgerätes anstelle der Batterie. Die benötigte Spannung (12 V) für den Betrieb des

neuen CPU-Kühlers erforderte eine Auslagerung der Energieversorgung mit einem Netzgerät, da die Spannung mit einer einzigen Blockbatterie nicht zur Verfügung gestellt hätte werden können.

Durch die verwendete Folie gelang eine bessere Abdichtung zwischen Tischoberfläche und Gleiter. Der Luftpolster bildete sich in der Folie aus und dichtete somit die Unregelmäßigkeiten des Bodens, sowie des zurechtgeschnittenen Styroporunterbaues ab. Der größte Anteil, der in den Hohlraum eingeblasenen Luft, strömte jedoch wieder oben aus der Öffnung nach außen. Um dies zu verhindern, wurde ein Blatt Papier zu einer Rolle geformt und als Ansaugschacht verwendet. Die Höhe des Ansaugschachtes war 40 mm und der Durchmesser 80 mm.

Der CPU-Kühler wurde, so wie in der vorhergehenden Version, mittig platziert und die Leiterplatte mit dem Miniatur-Kippschalter wurde so nahe wie möglich an dem PC-Lüfter angeordnet, um die bestmögliche Massenverteilung zu erreichen (siehe Abbildung 10).

### **6.3.3. Ergebnisse**

Obwohl die Masse des Gleiters deutlich verringert war, kam es nicht zur erwünschten Reduktion der Reibung zwischen Gleiter und Untergrund. Wie bereits in der vorhergehenden Version, war der Luftrückstrom hoch und entwich nach oben. Der erzeugte Luftdruck im Inneren reichte nicht aus, um den Luftkissengleiter anzuheben und die Luft zwischen Folie und Oberfläche nach außen zu drücken.

Die erwünschte Verhinderung der Gegenströmung mit Hilfe des Ansaugschachtes trat nicht ein und es ließ sich keine beobachtbare Veränderung gegenüber der Version ohne dem Ansaugschacht feststellen.

### **6.3.4. Resümee**

Der neue, leichtere PC-Kühler führte nicht zu den gewünschten Veränderungen. Die Energieversorgung war nur provisorisch und die erforderliche Betriebsspannung von 12 V könnte nur mit mehreren in Serie geschalteten Batterien oder Akkus aufrecht erhalten werden, was wiederum die Gesamtmasse des Luftkissengleiters erhöht hätte.

Durch den schnelldrehenden CPU-Kühler wurde eine erhebliche Luftmenge in den Hohlraum geblasen, wodurch sich die Frage stellte, ob nicht der Luftauslass an der Unterseite zu verbessern wäre. Denn, wenn die nach oben entweichende Luftmenge nach unten umgesetzt werden könnte, sollte sich das gewünschte Resultat einstellen.

Für die nächste Version lautete die Forderung, dass die Form des Schürzenausschnitts geändert werden musste, um so den Durchstrom zu verbessern (siehe 6.4. „Zuschnittformen der Schürze“).

#### **6.4. Zuschnittformen der Schürze**

Wie im Punkt 5.2. „Physik eines Luftkissengleiters“ erläutert, bieten weder Taschen- noch Fingerschürzen eine umsetzbare Variante für die Verwendung in diesem Projekt. Um eine Ausbildung eines Luftkissens unterhalb des Gleiters und so das Gleiten desselben zu ermöglichen, wurde eine individuelle Schürzenform verwendet. Wie in Abbildung 10 ersichtlich (rot), wurde der zurechtgeschnittene Müllsack locker über den Unterbau gelegt und mit Klebeband fixiert. Die eingeblasene Luft blähte den Müllsack auf und dichtete so den Luftkissengleiter entlang des Randes gegenüber dem Untergrund ab. Die Form der mittigen Öffnung (Schnittform) ist für die Ausbildung des Luftkissens unterhalb des Gleiters wesentlich.

Um die bestgeeignete Schnittform für die Anwendung zu finden wurden unterschiedliche Muster ausgetestet, welche in Abbildung 11 dargestellt sind.

Bei der Testung der unterschiedlichen Schürzenschnittformen wurde stets dieselbe Konfiguration des Gleiters, sowie dieselbe Befestigungstechnik der Schürze angewandt. Als Standard diente die Version 2.0, um die passende Zuschnittform zu finden. Die Folie wurde bei der zweigeteilten Unterbaukonstruktion zwischen der unteren und oberen Styroporschicht eingebracht (Abbildung 10). Befestigt wurde die Folie mit einem Klebestreifen eines Gewebebandes mit der Breite von ca. 15 mm. Für den Luftdurchsatz sorgte bei allen Versionen der zuletzt verwendete CPU-Kühler Sourcingmap *FSY25B12M*, welcher mit dem Netzgerät mit Spannung versorgt wurde. Bei der Testung wurde der PC-Kühler mittig auf dem Gleiter positioniert und mit Gewebeband fixiert. Da der CPU-Kühler nicht selbstständig für den notwendigen Luftdurchsatz sorgen konnte, wurde die Wirkung des Ausschnittes durch leichtes Anheben des Luftkissengleiters überprüft. Dadurch wurde die Ausbildung eines Luftkissens unterstützt. So konnte ermittelt werden, welchen Einfluss die jeweilige Schnittform auf die Verminderung der Reibung hatte.

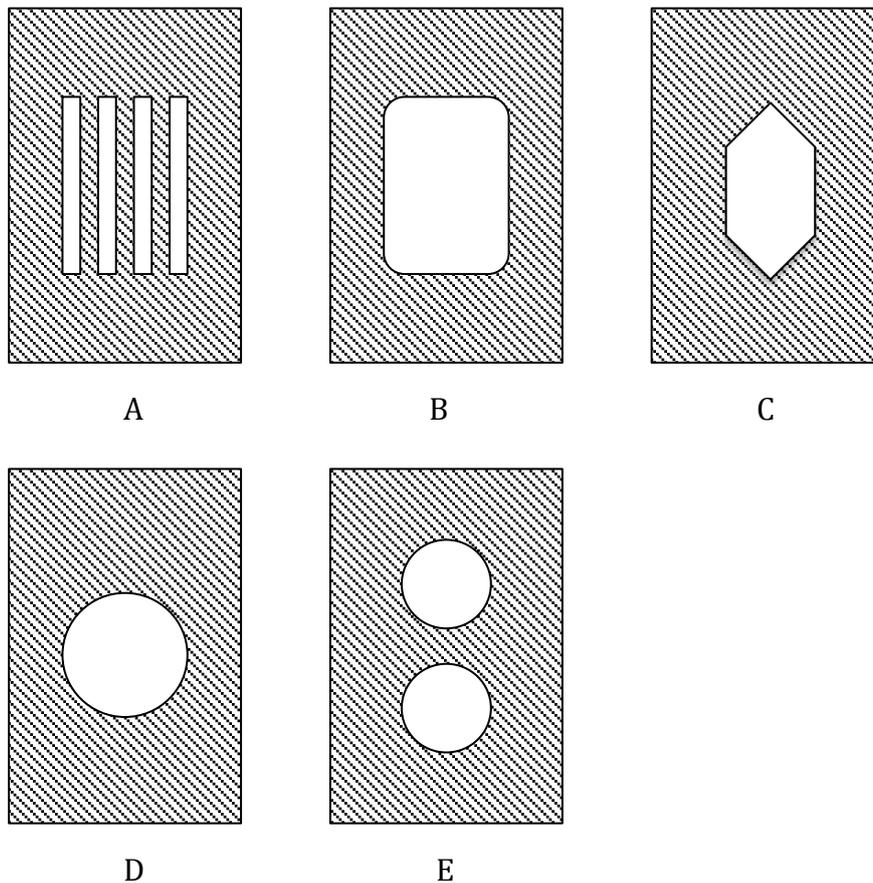


Abbildung 11: Schnittformen für den Schürzenausschnitt des zurechtgeschnittenen Müllsackes.

#### 6.4.1. Schnittform A:

Das Kissen war voll gefüllt. Durch die vier, nebeneinander angeordneten Schlitze mit den Maßen 10x60 mm drang allerdings zu wenig Luft aus dem Kissen unter den Gleiter. Ein Großteil der Luft entwich wieder durch die Einströmöffnung nach oben. Selbst durch leichtes Anheben verminderte sich die Reibung nicht merklich und es kam zu keiner Ausbildung eines Luftkissens unterhalb des Gleiters.

#### 6.4.2. Schnittform B

Das Kissen war nicht vollständig gefüllt. Es schien allerdings mehr Luft unter den Gleiter zu gelangen als beim Versuch mit der Schnittform A. Mit leichter, manueller Unterstützung hob sich der Gleiter allerdings nur ungleichmäßig, weshalb die Reibung nur auf der jeweils gehobenen Seite verringert wurde.

#### 6.4.3. Schnittform C

Das Kissen war gut gefüllt. Der Luftausstrom zwischen der Folie und der Tischoberfläche war spärlich, jedoch gleichmäßig auf allen Seiten zu fühlen. Ohne Unterstützung war die Reibung jedoch zu groß um ein Gleiten zu ermöglichen.

#### **6.4.4. Schnittform D**

Das Kissen war, so wie bei Schnittform C, gut gefüllt. Der Luftausstrom war, mit leichter Hilfe, gleichmäßig, jedoch noch nicht genug um den Luftkissengleiter selbstständig zum Gleiten zu bringen.

#### **6.4.5. Schnittform E**

Das Kissen war vollständig gefüllt. Der Ausstrom unterhalb des Luftkissengleiters war jedoch unregelmäßig. An den kurzen Seiten des Gleiters war ein größerer Luftstrom fühlbar als auf den langen Seiten.

### **6.5. Version 3.0**

#### **6.5.1. Anforderungen**

- Um den nötigen Luftdurchsatz gewährleisten zu können, soll anstelle eines CPU-Kühlers ein Motor in Kombination mit einem Propeller verwendet werden.
- Es soll ein schnelldrehender Motor aus dem Modellbau verwendet werden. Diese liefern ein gutes Verhältnis von Nenndrehzahl zu Masse des Motors.
- Es werden Propeller für die Modellbaumotoren benötigt, welche für hohe Drehzahlen geeignet sind.
- Es sollen die Zuschnittformen C und D getestet werden (siehe 6.4. „Zuschnittformen der Schürze“).
- Die Spannungsversorgung soll für Versuchszwecke weiterhin mit Netzgerät gewährleistet werden.

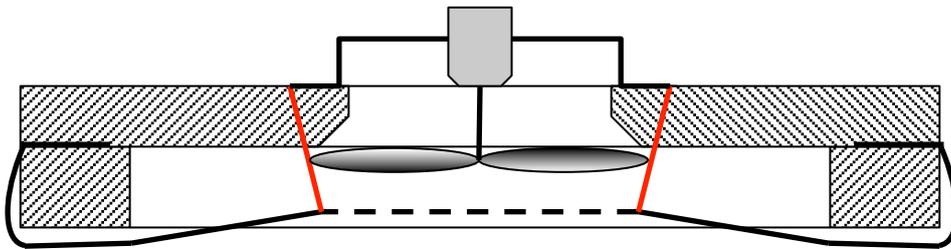
#### **6.5.2. Umsetzung**

Der für diese Version verwendete Modellbaumotor Motraxx SFK130SAC10310 zeichnete sich durch eine hohe Drehzahl und kompakte Bauweise aus. Die Lastdrehzahl lag bei 13.000 U/min, bei einer Betriebsspannung von 9 V. Die Halterung des Motors wurde aus Kunststoff, aus einem Stück Kabelkanal, gefertigt. Die Einzelteile der Halterung, sowie der Motor selbst, wurden mit Heißkleber fixiert und mittig auf dem Luftkissengleiter platziert.

Um die Anforderung des höheren Luftdurchsatzes zu erfüllen, wurde ein Propeller eines Modellhubschraubers mit einem Durchmesser von 100 mm verwendet. Für den Propeller wurde ein Adapter benötigt, da der Wellendurchmesser des Motors von 2 mm

nicht mit der Fassung für den Propeller übereinstimmte. Der Adapter konnte stufenlos mit einer Stellschraube auf den Wellendurchmesser eingestellt werden.

Eine weitere Adaption bezog sich auf die Schürze bzw. auf die Ausbildung des Luftpolsters unter dem Gleiter. Es wurden einfache Wollfäden verwendet um die Folie leicht nach oben zu ziehen (siehe Abbildung 12). Dadurch wurde die Ausbildung des Luftpolsters erleichtert. Die Fäden wurden mit einer Nadel durch das Styropor gefädelt und auf der Oberseite verknotet.



**Abbildung 12: schematische Schnittdarstellung der Version 3.0. Die Wollfäden zum Hochziehen der Schürze sind rot eingefärbt.**

Ohne die Fäden würde der Luftstrom vom Untergrund reflektiert und die Ausbildung des Luftpolsters würde erschwert werden. Durch die Anhebung des Schürzenmaterials entwich ein gewisser Anteil der Luft über den so erzeugten Spalt zwischen Untergrund und Folie.

### **6.5.3. Ergebnisse**

Der neue Motor, in Kombination mit der neuen Luftschraube, erzeugte genügend Luftdurchsatz, sodass sich das Kissen gut füllte und gleichzeitig genügend Luft unter den Gleiter gelangte. Es bildete sich ein Luftpolster zwischen der Untergrundoberfläche und der aufgeblähten Schürze aus. Die Reibung wurde dadurch vermindert und der Luftkissengleiter glitt auf einer Luftschicht, welche zwischen dem Untergrund und der Kunststofffolie entwich.

Die Stellschraube rief eine ungleiche Masseverteilung in der Drehachse des Motors hervor, welche in einer Unwucht, und weiterführend in leichten Schwingungen resultierte. Es hat sich gezeigt, dass sich ein einfacher, kreisförmiger Ausschnitt (Schnittform D) am besten für die modifizierte Anwendung mit der angehobenen Schürze eignete. Im Gegensatz zum rautenförmigen Ausschnitt (Schnittform C) war die Folie so über die ganze Fläche straff gespannt, während sich bei der rautenförmigen Schnittform Stellen bildeten, an denen das Material durchhing. Das durchhängende Material führt unter ungünstigen Bedingungen zu Vibrationen, sowie zu einem

flappenden Geräusch. Die Spannungsversorgung wurde nach wie vor durch das externe Netzgerät realisiert. Das bedeutete, dass sich die Last bei späteren Modellen, mit aufgebauter Spannungsversorgung, deutlich erhöhen würde. Zusätzlich sollte bei fortgeschrittenen Versionen noch ein Aufbau mit einem horizontalen Motor auf dem Luftkissengleiter platziert werden, wodurch sich die Masse noch weiter erhöhen würde. Für einen dauerhaften Betrieb war die Reibung in dieser Version also immer noch zu hoch. Selbst bei kurzfristigem Betrieb mit 12 V Spannung wurde nicht genügend Luftdurchsatz generiert, um die Reibung zwischen Luftkissengleiter und Untergrund ausreichend zu verringern, sodass der Gleiter annähernd reibungsfrei auf der Tischoberfläche gleiten konnte.

#### **6.5.4. Resümee**

Die kreisrunde Schnittform D in Kombination mit dem Hochziehen der Folie ermöglicht einen gleichmäßigen Luftausstrom über die gesamte Randfläche des Gleiters, bei gleichzeitig guter Füllung der Abdichtung. Aufgrund der weiteren Testung an der Version 3.0 wurde die Schnittform D als Zuschnitt für die Schürze weiter verwendet.

Das neue Motorsystem aus Luftschaube und Modellmotor stellte sich, im Vergleich zur CPU-Kühler-Variante, als wirkungsvoll heraus. Erstens befand sich die Betriebsspannung abermals innerhalb der mit Batterien bzw. Akkus realisierbaren Spannung und zweitens war der Luftdurchsatz höher als bei den CPU-Kühlern. Allerdings reichte der Luftdurchsatz bei der Betriebsspannung von 9 V nicht aus, um die Reibung auf ausreichende Art und Weise zu verringern. Für spätere Versionen, bei welchen der Aufbau, sowie die Energieversorgung auf dem Luftkissengleiter platziert werden wird, stellte der Gleiter in der Version 3.0 keine geeignete Lösung dar. Als problematisch stellten sich die Vibrationen, welche durch die Unwucht des Adapters hervorgerufen wurden, heraus. Sie führten zu einem unruhigen Lauf und beeinflussten so das Fahrverhalten.

## 6.6. Version 4.0

### 6.6.1. Anforderungen

- Um die Last des Aufbaues, sowie der Energieversorgung tragen zu können, soll der Motor eine hohe Drehzahl, sowie selbst eine möglichst geringe Masse aufweisen.
- Die Betriebsspannung des Motors soll 4,5 V nicht überschreiten, da diese Spannung mit drei 1,5 V AAA- bzw. AA-Batterien zur Verfügung gestellt werden kann.
- Um einen ausreichend hohen Luftdurchsatz zu gewährleisten sollen zwei oder mehrere Motoren verwendet werden.

### 6.6.2. Umsetzung

Es wurden zwei Motoren eines defekten Quadrocopters (Elektro Quadrocopter Cyclone Movie RFT) und die dazu passenden Rotoren (Durchmesser: 65 mm) verwendet. Die Rotoren wurden mit Heißkleber mit der Motorwelle verklebt. Wie sich gezeigt hat, bot für eine einmotorige Variante ein kreisrunder Ausschnitt direkt unter dem Rotor die beste Voraussetzung für die Ausbildung eines Luftkissens unterhalb des Gleiters (siehe 6.5.1. „Anforderungen“). Aus diesem Grund wurde für die Version 4 die Zuschnittform E gewählt um unter jeden Antrieb ein kreisförmiges Ausstromloch zu gewährleisten (siehe Abbildung 13).

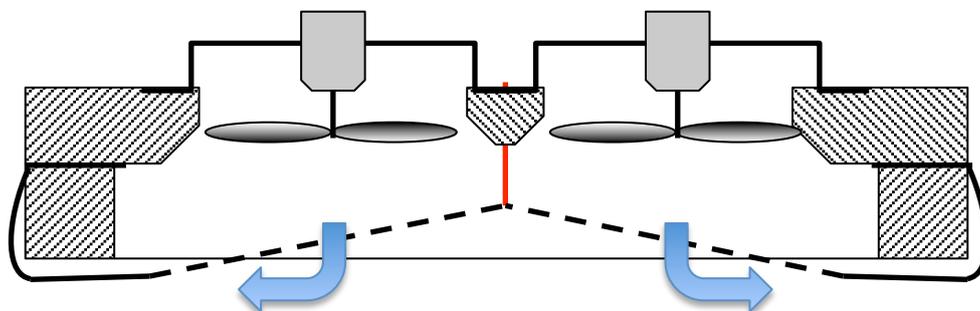


Abbildung 13: Schematische Schnittdarstellung der Version 4.0. Die rote Linie stellt den Faden für das Hochziehen der Schürze dar. Der Luftstrom ist schematisch mit blauen Pfeilen gekennzeichnet.

Da die Nennspannung der Motoren bei 3 V lag, wurden Batterien als Energieversorgung gewählt.

Durch die zweimotorige Variante ergab sich zwischen den beiden ausgeschnittenen Löchern ein Steg. Auf diesem Steg konnten die Batterien, sowie die Kupferplatte mitsamt

dem Miniatur-Kippschalter positioniert werden. So wurde sichergestellt, dass diese mittig auf dem Luftkissengleiter lagen.

Die Halterungen für die Motoren wurden, so wie in der vorangegangenen Version 3.0 aus Kunststoff-Kabelkanälen und Heißkleber konstruiert.

Der geforderte hohe Luftdurchsatz wurde durch die hohe Drehzahl der Quadrocoptermotoren geliefert, welche im Leerlauf, laut Hersteller, bei etwa 30.000 U/min lag. Unter Last war sie auf jeden Fall geringer, da die sehr kleinen Motoren ein dementsprechend geringeres Drehmoment besaßen.

Die Betriebsspannung der beiden, parallel geschalteten, Quadrocoptermotoren lag bei 3 V, welche durch zwei in Serie geschaltete 1,5 V Batterien aufgebracht wurde. Im Betrieb fiel die Spannung allerdings stark ab, sodass bei gleichzeitigem Betrieb der beiden Motoren nur 2,2 V effektive Betriebsspannung zur Verfügung standen. Aus diesem Grund wurden drei 1,5 V Batterien verwendet um eine Startspannung von 4,5 V aufzubringen. Im Betrieb fiel die Spannung auf 3,2 V ab. Durch den simultanen Betrieb zweier Motoren und dem damit verbundenen erhöhten Gesamtstrom wurden die Batterien allerdings nach etwa 20 Sekunden Betrieb heiß.

### **6.6.3. Zwischenergebnis der Version 4.0**

Durch den höheren Luftdurchsatz und der mittigen Masseverteilung hob sich der Luftkissengleiter vom Untergrund ab. Die Reibung wurde durch die beiden Motoren stark vermindert und der Luftkissengleiter glitt auf dem Untergrund.

## **6.7. Version 4.1**

### **6.7.1. Zusätzliche Anforderung**

- Durch die gelungene Reduktion der Reibung, bei gleichzeitiger zusätzlichen Last (Batterien) soll nun der Betrieb mit hinzugefügtem Aufbau und horizontalem Motor ausgetestet werden.

### **6.7.2. Umsetzung**

Um die horizontale Fortbewegung zu ermöglichen, wurde neben den beiden vertikalen Motoren, ein baugleicher Motor in horizontaler Ausrichtung auf dem Luftkissengleiter montiert. Dazu wurde ein provisorisches Gestell errichtet, welches, so wie die Motorhalterungen für die vertikalen Antriebe, aus Kunststoffkabelkanälen gefertigt wurde. In Abbildung 14 ist der Aufbau skizziert. Der horizontale Motor wurde getrennt

von den beiden vertikalen Motoren, mit einem eigenen Schalter verkabelt. Als Rotor diente, so wie bei den vertikalen Motoren, eine 65 mm - Modellbauluftschaube. Der horizontal ausgerichtete Rotor wurde, so wie der horizontale Motor, mit Heißkleber auf die Welle geklebt.

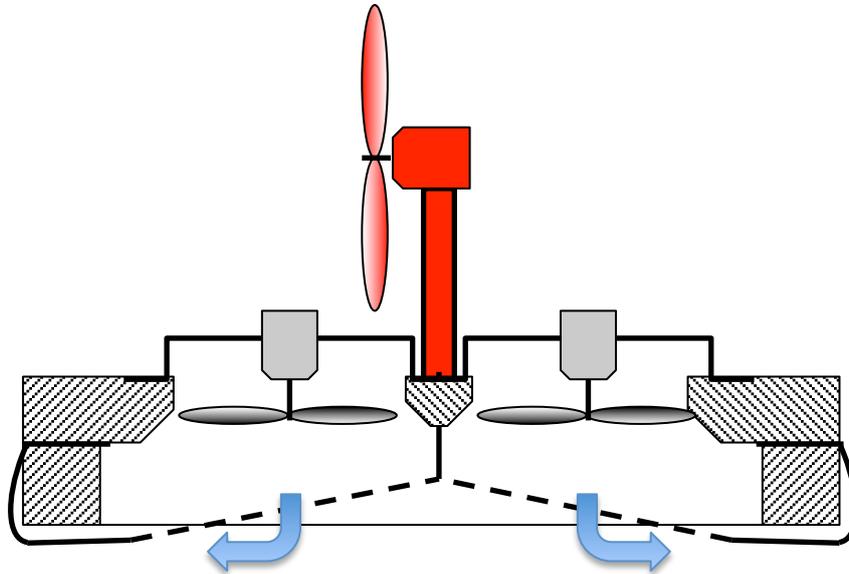


Abbildung 14: Schematische Schnittdarstellung der Version 4.1. Der horizontale Motor, sowie der Aufbau und die Luftschaube sind rot eingefärbt. Die blauen Pfeile kennzeichnen schematisch den Luftstrom.

### 6.7.3. Ergebnisse der Versionen 4.0 und 4.1

Durch die erhöhte Belastung der Batterien (drei Motoren – siehe Abbildung 14) sank bei Aktivierung des horizontalen Motors die Betriebsspannung ab, wodurch sich der Luftdurchsatz merklich verringerte und sich in weiterer Folge die Reibung zwischen der Schürze und dem Untergrund vergrößerte. Dadurch war es nicht möglich den Luftkissengleiter in eine beschleunigte Bewegung zu versetzen.

### 6.7.4. Resümee der Versionen 4.0 und 4.1

Ein erheblicher Vorteil, welcher sich durch die Variante mit zwei Motoren ergab, war, dass sich zwischen den beiden Motoren ein Steg bildete. Auf diesem Steg konnten notwendige Zusatzmassen (Schaltung, Batterien,...) platziert werden um die Massenverteilung zu optimieren.

Die Kombination aus den leichten und gleichzeitig schnelldrehenden Quadrocoptermotoren mit den Modellbaurotoren erwies sich als zielführend. So konnte ein genügend großer Luftdurchsatz erreicht werden, um die Schürze zu füllen. Durch die

beiden Ausschnitte mit der Schnittform E, strömte ausreichend viel Luft zwischen Schürze und Untergrund, um den Gleiter auf einem Luftkissen gleiten zu lassen.

Die Verwendung von zwei vertikalen Motoren brachte jedoch auch Nachteile mit sich. Ein Nachteil war, dass durch den zusätzlichen Motor der Energieumsatz erhöht wurde. Dies führte zu einem Abfall der Spannung der Batterien im Betrieb. Durch die erhöhte Stromentnahme kam zusätzlich noch hinzu, dass die Batterien schnell heiß wurden und so nur ein kurzer Betrieb möglich war. Durch die zusätzliche Belastung der Batterien sank, trotz Parallelschaltung der Motoren, die Betriebsspannung noch weiter ab und der vertikale Luftdurchsatz stagnierte.

In der Zusammenstellung der Version 4.0 bzw. 4.1 war es aus diesen Gründen nicht möglich, einen horizontalen Motor zusätzlich zu den vertikalen Motoren an derselben Spannungsquelle anzuschließen.

Ein weiterer Schwachpunkt der Versionen 4.0 und 4.1 war, dass die verwendeten Propeller im originalen Quadrocopter mit einer Übersetzung über ein Getriebe verwendet wurden. Aus diesem Grund passte die Anschlussstelle Motorwelle – Propeller nicht einwandfrei. Um das Problem zu umgehen, wurde mit Heißkleber die Welle mittig mit dem Propeller verklebt. Diese provisorische Verbindung war allerdings nicht ausgewuchtet, was dazu führte, dass, so wie in der Version 3.0, unerwünschte Vibrationen auftraten. Dadurch wurde der Luftkissengleiter zusätzlich belastet und es resultierte ein unruhiger Betrieb. Während die getriebelose Antriebsausführung der Version 4.0 im Netzbetrieb ganz passable Ergebnisse lieferte, reichte die Energiebereitstellung im Batteriebetrieb (Version 4.1) nicht aus. Die kleinen Motoren konnten im Batteriebetrieb nicht das nötige Drehmoment aufbringen, um die Propeller ohne Getriebe auf einer angemessenen Drehzahl zu halten.

In Hinblick auf die überspannende Aufgabenstellung, einen möglichst einfachen Luftkissengleiter zu bauen, war für den vertikalen Antrieb eher eine einmotorige Variante der zweimotorigen Variante vorzuziehen.

Hinsichtlich der Energiebereitstellung zeigte sich, dass einfache AAA-, sowie AA-Batterien unter Last die notwendige Betriebsspannung nicht aufrechterhalten konnten. Darüber hinaus sorgte der, für Batterien, große Stromfluss für ein Ansteigen der Batterietemperatur. Dies beschleunigte den Abfall der Betriebsspannung und beeinflusste darüber hinaus die Lebensdauer der Batterien.

Neben den technischen Aspekten, stellte sich auch die Frage der Nachhaltigkeit, da nach einigen Betriebsminuten die Batterien getauscht werden hätten müssen. Eine geeignete

Alternative stellten Akkumulatoren dar, welche wieder geladen werden und somit der Sondermüllanfall vermindert werden kann. Im Speziellen eignen sich Akkus von Smartphones für Miniaturanwendungen wie diese. Handyakkus zeichnen sich dadurch aus, dass sie, selbst bei relativ hohen Stromentnahmen, in kurzer Zeit die Spannung konstant halten und gleichzeitig eine geringe Masse aufweisen.

## **6.8. Version 5.0**

### **6.8.1. Anforderungen**

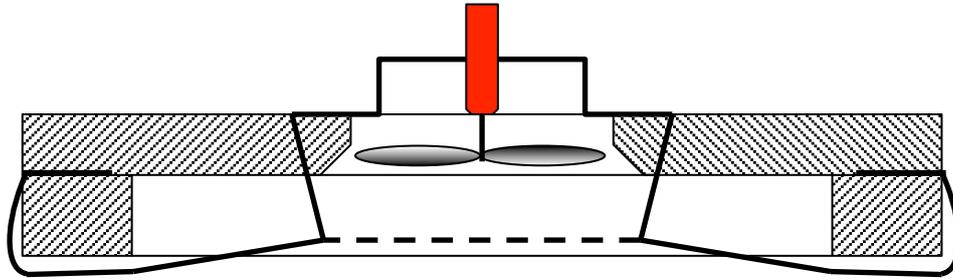
- Um den Luftkissengleiter so einfach wie möglich zu gestalten, soll wieder eine, für den vertikalen Antrieb, einmotorige Variante angestrebt werden.
- Die schnelldrehenden Quadrocoptermotoren erwiesen sich als brauchbar. Allerdings soll ein leistungstärkerer Motor verwendet werden.

### **6.8.2. Umsetzung**

Für die Version 5 wurde wieder eine vertikal-einmotorige Lösung gewählt (Abbildung 15). Um den nötigen Luftdurchsatz zu erzeugen, wurde ein neuer Quadrocoptermotor verwendet (Jtron High Speed Cylindrical DC Motor). Der Motor wurde, so wie in den Versionen 4.0 und 4.1 über zurechtgeschnittene Kunststoffkabelkanäle in Position gehalten. Die Spannungsversorgung erfolgte, für Testzwecke, über ein Netzgerät.

Als Schnittform für die Schürze wurde, so wie in Version 3.0, die Variante D ausgewählt, da sich diese, für die einmotorige Variante, als besser geeignet erwies. Als Propeller wurden Luftschrauben aus dem Modellfliegerbau mit einem Durchmesser von 104 mm verwendet, welche mit einem Adapter auf die Motorwelle aufgesetzt wurden. Im Gegensatz zum Adapter der Version 3, welcher zu einer Unwucht führte, wurde ein Adapter mit einer Presspassung verwendet. Dieser Adapter rief durch seine konische Form keine Unwucht hervor.

Der Unterbau wurde mit zurecht geschnittenem Styropor mit den Abmessungen 250x180 mm realisiert.



**Abbildung 15: Schematische Schnittdarstellung der Version 5.0. Der neue Motor ist rot markiert.**

Der neue Motor verfügte, laut Herstellerangaben, über eine Leerlaufdrehzahl von 17.000 U/min, bei einer Versorgungsspannung von 3 V. Die Lastdrehzahl wurde vom Hersteller nicht angegeben. Der Quadrocoptermotor brachte ein höheres Drehmoment auf, als die kleineren Motoren aus den vorhergehenden Versionen 4.0 und 4.1 und konnte deshalb die hohe Drehzahl unter Last besser halten, als die kleineren Quadrocoptermotoren. Durch das höhere Drehmoment konnte der Motor auch eine größere Luftschraube, ohne Verwendung eines Getriebes, auf einer angemessenen Drehzahl halten.

### **6.8.3. Zwischenergebnisse der Version 5.0**

Im Netzbetrieb generierte diese Version einen ausreichend großen Luftdurchsatz, um die Schürze optimal aufzublähen und anzuheben. Unter der angehobenen Schürze bildete sich ein ausreichend stabiles Luftkissen aus. Die Reibung wurde stark vermindert und der Luftkissengleiter konnte durch einfaches, seitliches Anblasen bewegt werden.

## **6.9. Version 5.1**

### **6.9.1. Zusätzliche Anforderung:**

- Durch die gelungene Reduktion der Reibung soll nun der Aufbau mit dem horizontalen Motor ausgetestet werden.

### **6.9.2. Umsetzung**

Wegen der ausreichend reduzierten Reibung, wurde der Aufbau mit dem horizontalen Motor auf den Luftkissengleiter aufgebaut (siehe Abbildung 16). Für den vertikalen und den horizontalen Antrieb wurden baugleiche Motoren verwendet. Der horizontale Motor wurde ebenfalls mit einer baugleichen Luftschraube wie der vertikale Motor

ausgestattet. Der Aufbau wurde, so wie bei der Version 4.1, aus Kunststoffkabelkanälen hergestellt und diente nur experimentellen Zwecken. Die Position des Aufbaus wurde so gewählt, dass der horizontale Motor direkt über dem vertikalen Motor lag. Dadurch befand sich der Schwerpunkt in der Achse des vertikalen Motors, was, wie im Punkt 5.2. „Physik eines Luftkissengleiters“ beschrieben, einen möglichst optimalen Lauf ermöglichte. Die Spannungsversorgung wurde, so wie bei der Version 5.0, über ein Netzgerät realisiert.

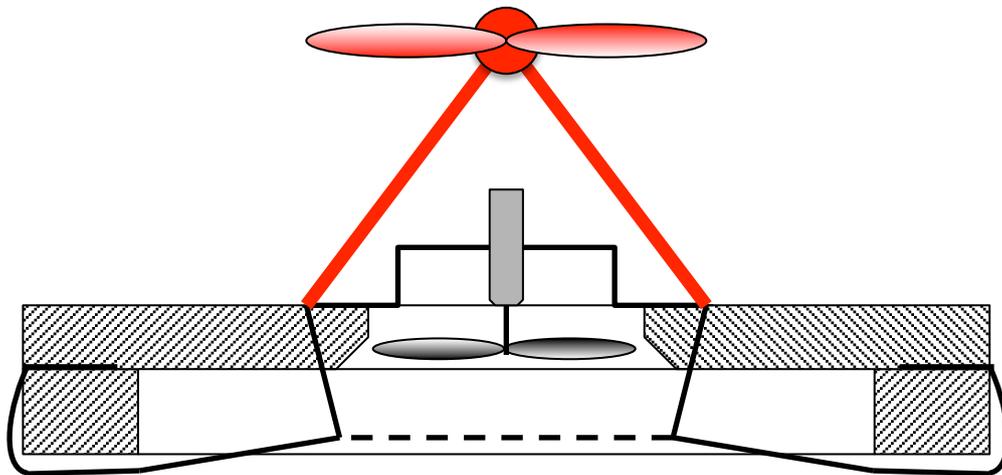


Abbildung 16: Schematische Schnittdarstellung der Version 5.1.  
Der horizontale Motor samt Luftschraube, sowie der Aufbau sind rot dargestellt.

### 6.9.3. Zwischenergebnisse der Version 5.1

Auch im Betrieb mit erhöhter Masse (Aufbau und zusätzlicher Motor) war die Reibung erheblich reduziert. Bei Aktivierung des horizontalen Motors stellte sich unmittelbar eine Beschleunigung in Antriebsrichtung ein. Aufgrund des Betriebes mit einem Netzgerät konnten, in dieser Version, keine zusätzlichen Informationen bezüglich der Beschleunigung gewonnen werden. Als Grund dafür ist die Kabelverbindung zwischen Luftkissengleiter und Netzgerät zu nennen, welche die Bewegung erheblich beeinflusste.

## 6.10. Version 5.2

### 6.10.1. Zusätzliche Anforderungen:

- Aufgrund der erfolgreichen Umsetzung der Reibungsreduktion, sowie der Beschleunigung im Netzbetrieb, soll nun der Betrieb mit aufgebauter Energieversorgung erprobt werden.
- Die Energiebereitstellung soll mittels Handyakkus realisiert werden.

### 6.10.2. Umsetzung

Aufbauend auf die Versionen 5.0 und 5.1 zeichnete sich die Version 5.2 dahingehend aus, dass die Spannungsversorgung nun von Mobiltelefonakkus bereitgestellt wurde. Dazu wurden zwei gebrauchte Akkus mit einer Nennspannung von 3,7 V vom Elektronikhersteller SAMSUNG verwendet.

Die Akkus wurden, wie in Abbildung 17 dargestellt, beidseitig des vertikalen Motors positioniert, sodass die Massenverteilung so nahe wie möglich beim Schwerpunkt des Unterbaus lag.

Es wurde jeweils ein Akku pro Motor verwendet, um zu vermeiden, dass die Spannung beim Zuschalten des horizontalen Motors absinkt und so die Reibung durch einen verminderten vertikalen Luftdurchsatz erhöht wird.

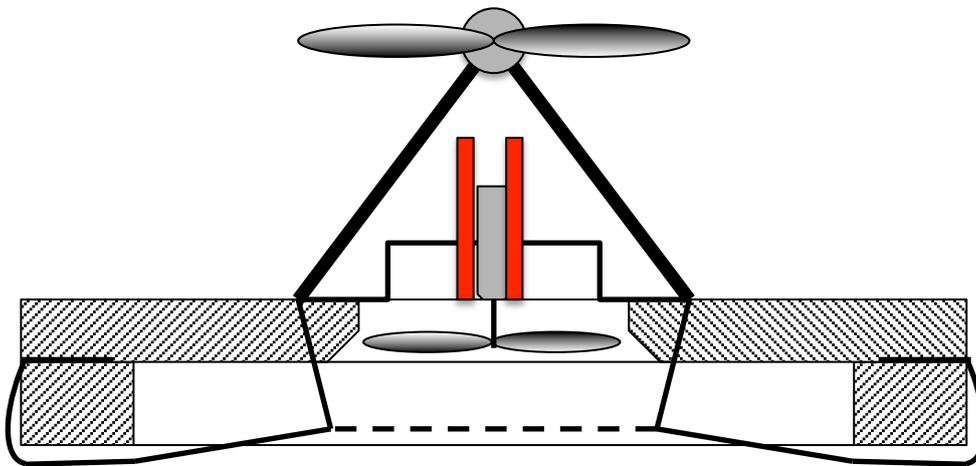


Abbildung 17: Schematische Schnittdarstellung der Version 5.2. Die Akkus sind rot dargestellt.

### 6.10.3. Ergebnisse

Die Akkuleistung reichte aus um die beiden Motoren getrennt voneinander mit genügend Energie zu versorgen, um einen Probebetrieb zu ermöglichen.

Waren beide Motoren in Betrieb, so war eindeutig eine beschleunigte Bewegung zu beobachten. Der Betrag der Beschleunigung variierte stark mit der Beschaffenheit des Untergrunds (Bodenmaterial, Sauberkeit).

### 6.10.4. Resümee der Versionen 5.0, 5.1 und 5.2

Mit der Version 5.0 war es mit den neuen und stärkeren Motor gelungen, einen stabilen Betrieb zu schaffen. Die Schürze war gut gefüllt und ein ausreichend stabiles Luftkissen bildete sich unter dem Gleiter aus, welches die Reibung zum Untergrund verminderte. In der darauf aufbauenden Version 5.1, wurde zusätzlich der hinzugefügte Aufbau mit dem

horizontalen Motor getestet, welcher für die beschleunigte Bewegung zuständig war. Es hat sich gezeigt, dass der vertikale Luftdurchsatz auch hier ausreichte, um die Reibung mit der zusätzlichen Masse ausreichend gering zu halten. In der Version 5.2 wurde der Betrieb mit Akkus realisiert, mit denen ein mobiler Betrieb ermöglicht wurde.

Die Version 5.2 war nach wie vor ein Prototyp. Der Bau war sehr umständlich und nahm viel Zeit in Anspruch. Einige Komponenten (Modellbau-Luftschauben, Kabelkanäle) sind zum Teil auch relativ teuer und entsprachen dadurch nicht dem übergeordneten Ziel einen möglichst einfachen und kostengünstigen Luftkissengleiter zu schaffen.

## 6.11. Version 6.0

### 6.11.1. Anforderungen

- Die Konstruktion des Unterbaus soll vereinfacht werden.
- Es soll ein Zeitschalter implementiert werden, damit der horizontale Motor zeitverzögert zugeschaltet werden kann.

### 6.11.2. Umsetzung

Für diese Version wurden dieselben Motoren und derselbe Aufbau wie bei der Version 5.2 verwendet. Als Unterbau wurde allerdings eine Styroporbox herangezogen, welche in Supermärkten zur Verpackung von Fleisch- oder Fischwaren verwendet werden (siehe Abbildung 18).

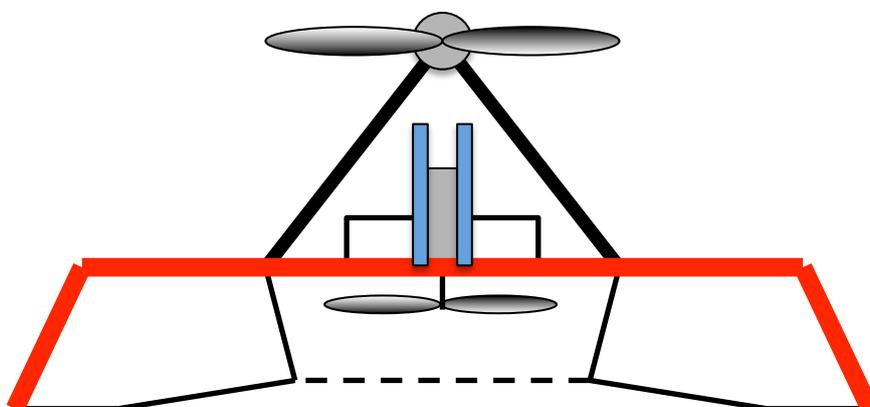


Abbildung 18 Schematische Schnittdarstellung der Version 6.0. Die Styroporbox, als neuer Unterbau, ist rot dargestellt.

Die Abmessungen waren: 230x185 mm. Es wurde, mit einem Messer, ein Ausschnitt für den Lufteinlass in die Tasse geschnitten, in welchen der vertikale Motor eingeführt

wurde. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich der Rotor knapp unterhalb der Öffnung befand, um den Lufteinstrom aus der dafür vorgesehenen Öffnung zu erleichtern. Die Schürze mit dem Schnittmuster D wurde am Rand der Tasse mit Klebeband befestigt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die entweichende Luft ein Luftkissen zwischen Schürze und Oberfläche des Untergrundes ausbilden konnte. Zwei Fäden zogen hierbei die Schürze nach oben um die Bildung des Luftkissens zu erleichtern.

So wie in den vorhergehenden Versionen wurde für die Aktivierung des vertikalen Motors ein Miniatur-Kippschalter verwendet.

Die Batteriehalterung wurde, so wie der Aufbau, in dieser Version, für Testzwecke provisorisch aus Kunststoff gefertigt. Die Verkabelung ist in Abbildung 20 ersichtlich.

#### **6.11.2.1. Zeitschalter**

Zusätzlich zum veränderten Unterbau wurde ein Zeitschalter für die Aktivierung des horizontalen Motors entwickelt, welcher in Abbildung 19 abgebildet ist. Dieses Zeitschaltersystem konnte entweder zeitverzögert oder sofort den horizontalen Motor aktivieren. Dazu wurden zwei Büroklammern verwendet und nach Abbildung 19 gebogen, um diese Zeitverzögerung zu ermöglichen. Im neutralen Zustand ist die Verbindung unterbrochen. Es besteht kein Kontakt zwischen den Drähten. Für die dauerhafte Aktivierung wird der Draht um den Bügel herumgeführt und der, in der Abbildung 19 blau dargestellte, Draht drückt von oben auf den roten Draht. Die Vorspannung der Drähte stellt in diesem Fall die Verbindung sicher. Für die Zeitverzögerung werden zwei Schaumgummi-Ohrstöpsel verwendet. Diese beiden Stöpsel sind durch eine weitere zurechtgebogene Büroklammer verbunden, sodass sich ein Steg bildet (Abbildung 19- links). Dieser drückt den blauen Draht nach oben und stellt so die Verbindung mit dem roten Draht her. Die Zeitverzögerung ergibt sich daraus, dass die beiden Schaumgummi-Ohrstöpsel nach unten gedrückt werden. Abhängig vom Anpressdruck ergibt sich eine Zeitverzögerung von 5 bis 20 s, bis sich die Ohrstöpsel wieder ausgedehnt haben und die Verbindung über den Steg und die Büroklammern herstellen.

Der Zeitschalter und der Miniatur-Kippschalter wurden auf der Kupferlötplatte verdrahtet.

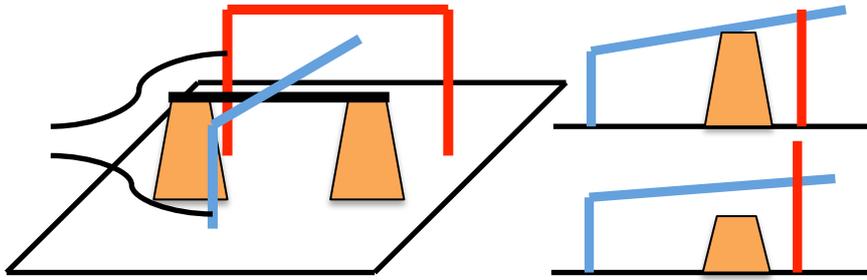


Abbildung 19: Zeitverzögerungsschalter. Die Schaumstoffohrstöpsel sind orange eingefärbt. Die Büroklemmen sind blau bzw. rot dargestellt. Der Steg ist (links) schwarz eingezeichnet und verbindet die beiden Ohrstöpsel. Die Abbildung rechts zeigt (oben) die Situation mit ausgedehnten Schaumstoffohrstöpsel und hergestelltem Kontakt und (unten) die Situation mit zusammengedrückten Ohrstöpsel und unterbrochenem Kontakt.

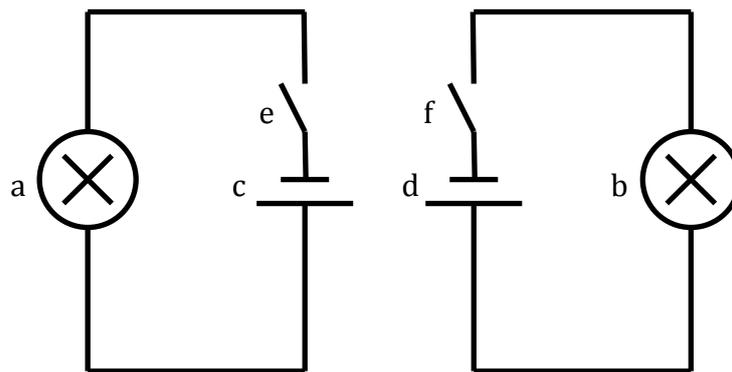


Abbildung 20: Verkabelung der Version 6.0. a (vertikal) und b (horizontal) bezeichnen die Motoren. Die Buchstaben c und d stehen für die Handyakkus. e steht für den Kippschalter und f für den Zeitverzögerungsschalter. Diese Verkabelung wurde auch in der Version 7 verwendet.

### 6.11.3. Ergebnisse

Die Gleiteigenschaften der Version 6.0 stellten sich als ähnlich dar wie die der vorhergehenden Version 5.2. Die Verwendung der Styroportasse als Unterbau schien eine Verbesserung der Stabilität zu bewirken. Darüber hinaus war die Bearbeitung des Unterbaus einfacher als in vorhergehenden Versionen.

### 6.11.4. Resümee

Die Styroportasse als Unterbau für den Luftkissengleiter stellte sich als eine sehr gute Variante heraus. Die Anschaffungskosten waren äußerst gering, da sie im Haushalt als Abfall anfallen. Des Weiteren war die Bearbeitung einfach, da die Dicke des Materiales nur etwa 4 mm war und dadurch leicht mit einem Messer zurecht geschnitten werden konnte. Durch die Form der Tasse war bereits eine Kammer vorhanden, welche nicht extra aus dem Styropor herausgeschnitten werden musste. Darüber hinaus war die Styroportasse stabiler und wegen der Materialeinsparung leichter als das zurechtgeschnittene Baustyropor. Um weitere Kosten zu sparen und den Zusammenbau

zu erleichtern, soll der Aufbau vereinfacht werden und im besten Fall die Akkus, sowie die Schalter beherbergen.

## **6.12. Version 7.0 und 3D-Druckverfahren**

### **6.12.1. Anforderungen**

- Der Aufbau soll stabiler und einfacher gestaltet werden.
- Es soll eine kostengünstige Alternative zu den teuren Modellbauluftschrauben gefunden werden.

Um den fortgeschrittenen Anforderungen gerecht zu werden, wurde ein 3D-Druckverfahren zur Fertigung von Bauteilen angewendet.

### **6.12.2. Verwendung von 3D-Druckverfahren**

3D-Druckverfahren bieten ein breites Spektrum von möglichen Anwendungen. Durch konstruktive Maßnahmen können die Teile so gestaltet werden, dass sie mehrere Aufgaben erfüllen. Speziell für Miniaturanwendungen sind aus Platzgründen multifunktionale Aufbauten sinnvoll. Durch vorgeformte Ausnehmungen, oder Aufnahmen für Motoren, können die Funktionalität erheblich erhöht und gleichzeitig die Gesamtmasse des Luftkissengleiters verringert werden.

Einige Schulen in Österreich und Deutschland verfügen bereits über 3D Drucker an den Schulstandorten. So können, zum Beispiel, im Schulunterricht Akzente in Richtung neuer Technologien gesetzt werden. Darüber hinaus bieten 3D-Drucker erweiterte Möglichkeiten für den Kunst- oder Werkunterricht. 3D-Drucker werden immer preiswerter und einfache Modelle kosten nur mehr etwa 450 €<sup>3</sup>. Als Jahrgangs- oder Klassenprojekt kann auch ein 3D-Drucker selbst gebaut und programmiert werden. Die Anschaffungskosten sinken dadurch noch weiter. Eine Anleitung für das Selberbauen findet man im Internet unter <https://all3dp.com/arduino-3d-printer/>, wo mit Hilfe eines Arduino-PCs die Steuerung realisiert wird. Dieses Projekt kann auch fächerübergreifend mit dem Informatik- und / oder dem Werkunterricht durchgeführt werden.

---

Ergebnis einer Internetrecherche auf der Website: [www.geizhals.at](http://www.geizhals.at) (durchgeführt am 9.11.2016)<sup>3</sup>

Die Anschaffung eines 3D-Druckers ist, im Vergleich zu den späteren Druckkosten, exorbitant hoch, da das Druckmaterial (Filament) dagegen äußerst kostengünstig ist. Zusätzlich kommen noch Kosten für die Konstruktionssoftware hinzu.

Die Konstruktion der 3D-Bauteile erfolgt mit Hilfe von speziellen CAD (Computer-Aided Design) -Programmen. Mit Hilfe dieser Programme werden Bauteile konstruiert, welche in späterer Folge von 3D-Druckern gefertigt (gedruckt) werden können. Bei der Konstruktion muss auf die Druckbarkeit der Bauteile geachtet werden. Zu geringe Wandstärken, sowie überhängende Strukturen können die Fertigung und das Druckergebnis stark beeinflussen.

Da der Druckkopf eines 3D-Druckers das Bauteil schichtweise konstruiert, müssen für Überhänge spezielle Unterbauten mitgedruckt werden, um die überhängenden Strukturen stabil drucken zu können. Diese Unterbauten müssen, nach dem Druckvorgang, manuell entfernt werden. Durch die Unterstützungsstrukturen wird jedoch der Druck verlangsamt und der Druckfilamentverbrauch erhöht. Einstellungen im Druckprogramm ermöglichen es, ausgefüllte Teile (z.B. Blöcke) mit materialsparenden Strukturen (Fachwerk-, Raster-, Wabenstrukturen, ect.) zu füllen.

Für die Einspeisung der Konstruktionen in den 3D-Drucker werden spezielle Dateiformate benötigt, welche meist druckerabhängig sind. Ein universelles Dateiformat, welches von den meisten handelsüblichen Druckern verarbeitet werden kann, ist *.STL* . Bei diesem Dateiformat wird die Konstruktion in kleine Dreiecke zerlegt und so ein Modell geformt, welches von der Druckersoftware gelesen werden kann.

### **6.12.3. Anwendung des 3D-Drucks für den Luftkissengleiter**

Für die Konstruktion des Aufbaus des Luftkissengleiters wurde das CAD-Programm *Solid Works 2015* verwendet, mit welchem auch die *.STL*-Datei erzeugt wurde. Der für den Druck verwendete 3D-Drucker ist ein *Ultimaker 2* mit einer aufgerüsteten Düse (Olssen Block) mit einem Durchmesser von 0,4 mm. Die Außenwandstärke für den Druck betrug 1 mm und der Infill-Prozentanteil 15%. Die Einspeisung in den 3D Drucker wurde über das Slicer-Programm (Einspeisungsprogramm für den 3D-Drucker) *Cura 2.1.3* realisiert. Als Druckfilament wurde ein ABS Kunststoff verwendet (Extrudr, HF ABS Filament 2.85 mm „nature“).

Es wurden der Aufbau, sowie die Rotoren mit dem 3D-Drucker gefertigt. Im Folgenden ist der Entwicklungsfortschritt der 3D-Modelle, sowie der Rotoren angeführt.

#### **6.12.4. 3D-gedruckte Rotoren für den Luftkissengleiter**

Um der Forderung nach einer einfachen und preiswerten Umsetzung des Luftkissengleiters gerecht zu werden, wurden die Rotoren (Propeller) für den vertikalen, sowie den horizontalen Antrieb mit einem 3D-Drucker realisiert.

Für die Propeller wurden Luftschrauben des Typs Gemfan 5040 nachmodelliert. Da die seriell gefertigten Rotoren mittels aufwändigen Verfahren gegossen werden, mussten einige Änderungen durchgeführt werden, damit die Rotoren für die Zwecke eines Luftkissengleiters verwendbar waren. Die Aufnahme (1 mm-Bohrung), sowie die Skalierung wurden an die spezifischen Gegebenheiten des Luftkissengleiters angepasst. Zusätzlich wurden die Befestigungen der Rotorblätter an dem Anschlussstück mit einer Fase versehen um die Druckbarkeit zu gewährleisten, sowie die Stabilität zu erhöhen.

In der nachfolgenden Abbildung 21 ist das 3D-Design des Propellers abgebildet.



**Abbildung 21: Darstellung des 3D-gedruckten Rotors.**

Der vertikale Rotor unterscheidet sich vom horizontalen Rotor nur durch einen Skalierungsfaktor. Der vertikale Rotor wurde um den Faktor 0,76 herabskaliert, lediglich die 1 mm-Bohrung wurde nicht skaliert um den Anschluss Motorwelle-Rotor durch die Skalierung nicht zu beeinflussen.

Im Anhang befindet sich die Fertigungszeichnung mit den genauen Abmessungen der Rotoren. Diese Rotoren wurden für die gesamte Versuchsreihe der Version 7 verwendet.

### 6.12.5. Akku-Stecksystem

Der Luftkissengleiter verfügt in seiner finalen Version über ein Akku-Stecksystem. Dieses ist in Abbildung 22 ersichtlich und wird, aus Gründen der Übersichtlichkeit, vor den einzelnen Entwicklungsschritten der Version 7 des Luftkissengleiters erklärt.

Bei den jeweiligen Unterpunkten der Version 7 sind die Entwicklungsschritte und Unterschiede zur finalen Version des Akku-Stecksystems beschrieben.

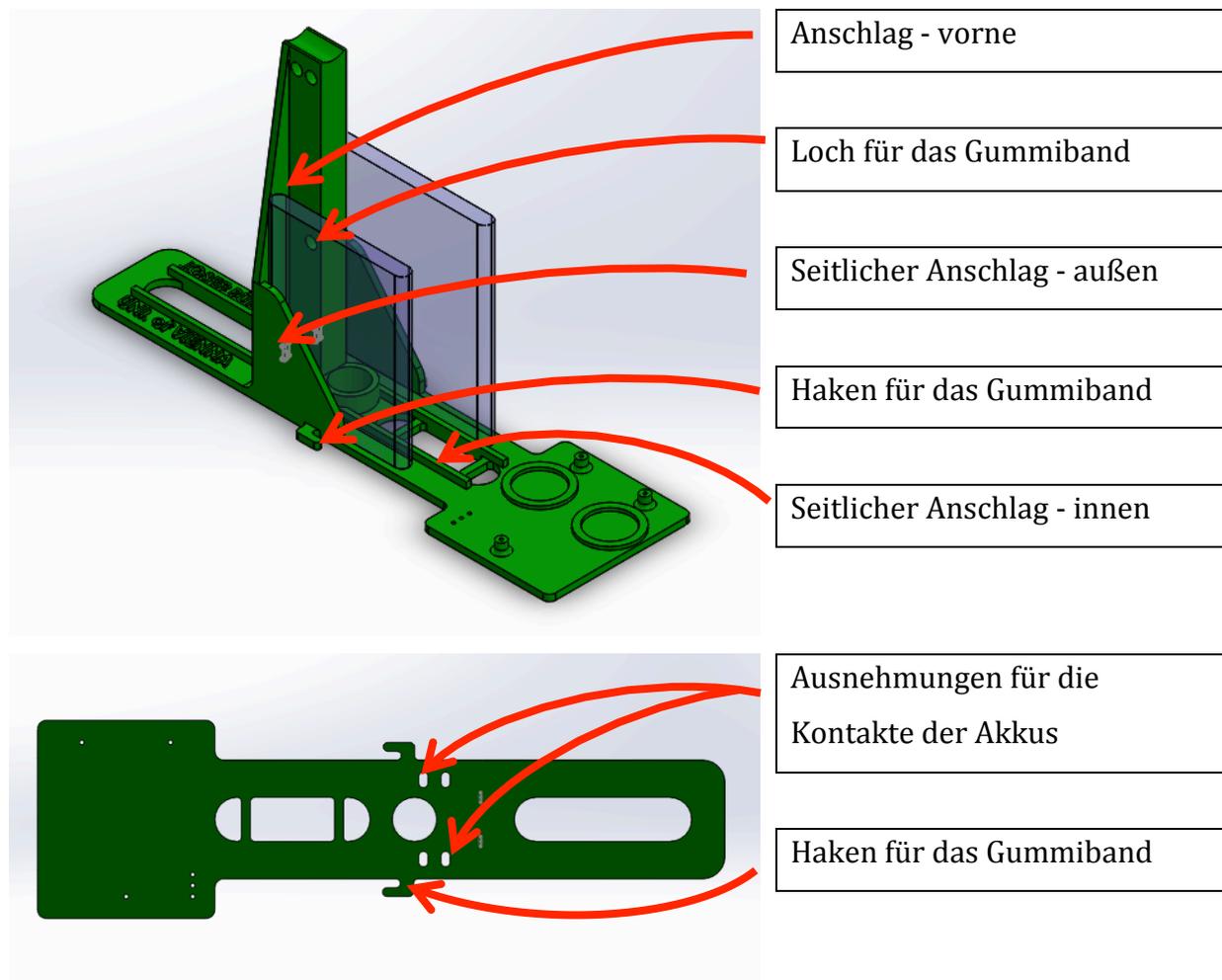


Abbildung 22: Akku-Stecksystem in der finalen Ausführung 7.3.

In der Abbildung 22 (oben) sind die Akkus im Stecksystem transparent dargestellt.

Um sicherzustellen, dass die Pole der Akkus direkt über den Ausnehmungen für die Kabel liegen, wurden Führungen und Anschläge konstruiert. Die seitlichen Führungen werden einerseits von einer Unterstützungsgeometrie („seitlicher Anschlag – außen“ in der Abbildung 22) und andererseits von einer 2 mm hohen Leiste gewährleistet („seitlicher Anschlag – innen“ in der Abbildung 22). Die Anschläge befinden sich an der Vorderseite, wo eine weitere Stützgeometrie die genaue Positionierung ermöglicht („Anschlag -vorne“ in der Abbildung 22). Ein langes Gummiband wird durch das Loch

(„Loch für das Gummiband“ in der Abbildung 22) gefädelt und beiderseits in die Haken eingehängt. Das Gummiband wird über die eingesteckten Akkus geführt und drücken diese nach unten auf die Kontakte.

In Abbildung 22 – unten sind die Ausnehmungen für die Motorkontakte, sowie die Haken für das Gummiband ersichtlich.

#### 6.12.6. Umsetzung

Für die Version 7.0 wurden wesentliche Überlegungen bezüglich der Konstruktion des Aufbaus angestellt und eingearbeitet. Der Betrieb soll durch die vorhergehende Planung vereinfacht und der Aufbau stabilisiert werden. In Abbildung 23 sind die Motorhalterungen (vertikal: zylindrischer Ausschnitt in der Bodenplatte, horizontal: Rinne am oberen Ende des Aufbaus) zu sehen. Dabei wurde der horizontale Motor, aus Überlegungen bezüglich des Schwerpunkts, etwas vor dem vertikalen Motor angeordnet (siehe: 5.2. „Physik eines Luftkissengleiters“). Die Akkus waren seitlich links und rechts neben dem vertikalen Motor angeordnet, allerdings mit dem Motorschwerpunkt etwas vor dem Schwerpunkt des Unterbaus.

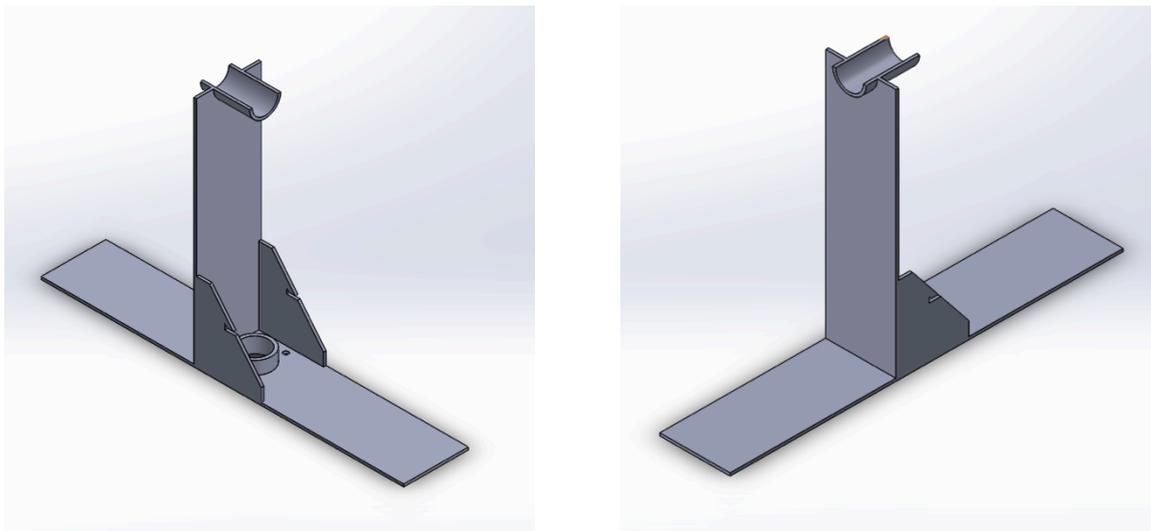


Abbildung 23: 3D-Darstellungen der Version 7.1.

In Kombination von Motor und befestigten Akkus, befand sich der Schwerpunkt des gesamten Aufbaus mit Motoren ausbalanciert über dem abtreibenden Luftstrom.

Das Stecksystem der Akkus (siehe 6.12.5. „Akku-Stecksystem“) war in dieser Ausführung (Version 7.0) noch sehr einfach gehalten. Die Ausnehmungen wurden als einfache, kreisrunde Löcher realisiert und das Gummiband wurde über beide Akkus

gleichzeitig geführt. Als Befestigungen dienten die eingearbeiteten Haken an den beidseitigen Unterstützungsstreben (siehe Abbildung 24).

Die mit Lötzinn überzogenen und mit Aderendhülsen versehenen Enden der Kupferkabel, wurden für die Verkabelung von unten in die dafür vorgesehenen Löcher (siehe Abbildung 24) eingebracht. Die Kabelenden wurden so in die Ausnehmungen gesteckt, dass sie leicht (etwa 1 mm) über die

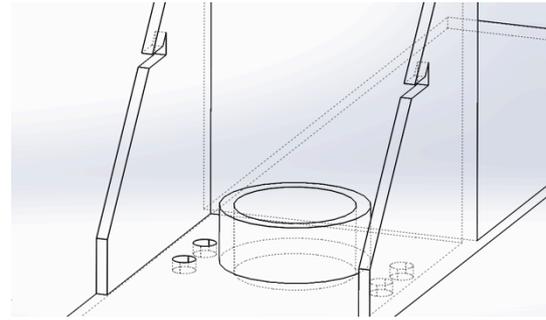


Abbildung 24: Akku-Stecksystem der Version 7.0.

Grundplatte hinausragten. Anschließend wurden die Kabel, mit Hilfe von Sekundenkleber, in den vier Löchern befestigt. Die Positionen der Ausnehmungen wurden so bemessen, dass, nach dem Einbringen der Akkus, die Kontaktanschlüsse exakt über den erhabenen Kabelenden lagen. Die Wandstärke der plattenförmigen Konstruktionen waren mit 1 mm bemessen. Die Gesamtabmessungen der Version 7.0 lag bei (LxBxH) 220x24x200 mm.

#### 6.12.7. Ergebnisse

Aufgrund des Durchmessers der 3D-Druckerdüse von 0,4 mm und der Druckweise des Druckers, stellte die Wandstärke von 1 mm eine erhebliche Druckschwierigkeit dar. Das Problem lag darin, dass der Drucker stets ein Rechteck druckt, wenn es sich um eine Außenwand handelt. Dadurch blieb ein Abstand von 0,2 mm zwischen den beiden Außenwänden, welche mit der 0,4 mm-Düse nicht aufgefüllt werden konnte. Darüber hinaus stellte die obere, horizontale Motorhalterung ebenfalls ein Problem dar. Die Konstruktion der Motorhalterung verlangte, wegen der überhängenden Struktur, einen sehr komplizierten Unterstützungsdruck.

Die für das Akku-Stecksystem benötigten Ausnehmungen waren in dieser Version als einfache, kreisrunde Löcher angedacht. Die exakte Positionierung der Kontakte wäre mit kreisrunden Löchern schwierig geworden, da leichte Ungenauigkeiten der Lochposition so nicht hätten ausgeglichen werden können.

#### 6.12.8. Resümee

Diese Version stellte sich als nicht druckbar heraus und wurde aus diesem Grund nicht gefertigt. Durch die Druckerspezifikationen ergaben sich spezifische Limits, welche in nachfolgenden Versionen eingehalten werden mussten. Durch die relativ breite Bodenplatte würde ein erheblicher Teil der Einströmöffnung verdeckt werden, wenn

diese Version gedruckt worden wäre. Ein geändertes Design der Bodenplatte war anzustreben.

## 6.13. Version 7.1

### 6.13.1. Anforderungen

- Der Aufbau soll mit einem 3D-Drucker tatsächlich fertigbar sein.
- Das Design der Bodenplatte soll verbessert werden, um den Luftestrom zu ermöglichen.
- Die Ausnehmungen für die Akkukontakte sollen verstellbar gestaltet werden, um eine genaue Positionierung der Kabel zu den Kontakten der Akkus zu ermöglichen.
- Das Akku-Stecksystem soll verbessert werden, sodass die eingesteckten Akkus einzeln auf die Kabelkontakte gedrückt werden.

### 6.13.2. Umsetzung

Um die Druckbarkeit zu ermöglichen, sowie die Stabilität zu verbessern, wurde die Wandstärke der vertikalen Strukturen (Unterstützungsdreiecke und vertikale Platte) auf 2 mm erhöht. Zudem wurde die Bodenplatte mit Langlöchern versehen, um das Durchströmen der Luft zu erleichtern. Um Material zu sparen, sowie die Druckzeit zu verkürzen, wurden die Ecken abgerundet. In der nachfolgenden Abbildung 25 sind die Änderungen dargestellt.

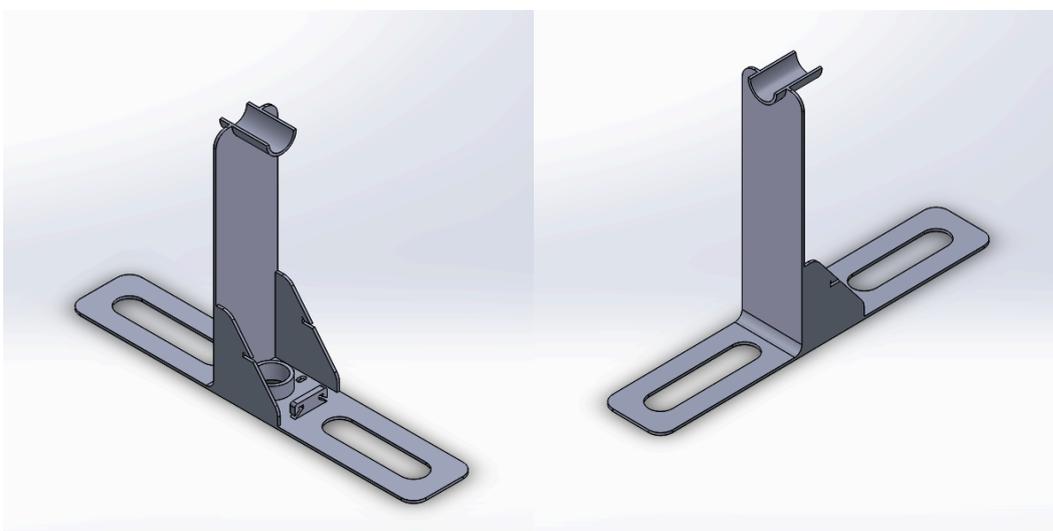


Abbildung 25: 3D-Darstellungen der Version 7.1.

Obwohl sich die obere Motorhalterung nur mit einem aufwändigen Unterbau drucken ließ, wurde diese Version probenhalber mit dem 3D-Drucker gefertigt. Der Aufbau wurde,

nach erfolgreichem Druck mit Klebeband auf dem Unterbau befestigt. Es wurde auf die mittige Ausrichtung des Aufbaus auf dem Unterbau geachtet, sodass der vertikale Motor im Mittelpunkt der ausgeschnittenen Einlassöffnung lag. Die Schalter (Miniatur-Kippschalter und Zeitschalter) wurden, so wie in der Version 6, verkabelt und am hinteren Ende des Luftkissengleiters positioniert.

Auch der Unterbau (Für Informationen bezüglich des Unterbaus siehe Abbildung 2.) wurde gegenüber dem der Version 6 nicht verändert (Styroportasse, Schnittform D für die Schürze, Fäden für die Ausbildung des Luftpolsters).

Für diese Ausführung des Akku-Stecksystems wurden, im Gegensatz zur vorhergehenden Version, zwei kürzere Gummibänder verwendet. In Abbildung 26 ist mittig die neue Hakenkonstruktion zu sehen, in welche die Gummibänder eingehakt wurden. Die Ausnehmungen für die Kabel wurden als kleine Langlöcher realisiert um die Kabelkontakte manuell auf die Kontakte der Akkus ausrichten zu können.

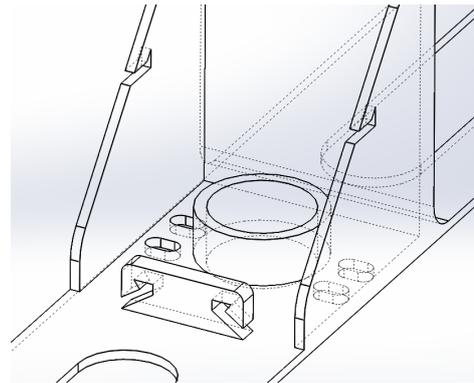


Abbildung 26: Akku-Stecksystem der Version 7.1.

### 6.13.3. Ergebnisse

Die Version 7.1 zeigte sich über weite Strecken als gut druckbar. Lediglich die Haken in den Unterstützungsdreiecken, sowie die neue Hakenkonstruktion auf der Bodenplatte (siehe Abbildung 26), konnten vom 3D-Drucker nicht in befriedigender Weise gefertigt werden.

Der Unterbau, welcher für die obere Motorhalterung gedruckt wurde, verlängerte die benötigte Druckzeit erheblich. Zusätzlich stellte sich das Entfernen der, für den Druck notwendigen, Unterstützungsstruktur als kompliziert heraus, da diese die Motorhalterung des vertikalen Motors ausfüllte und somit schwer zu zugänglich war. Die vertikale Platte fühlte sich aufgrund ihrer Länge und der dünnen Plattendicke bei leichtem Verbiegen instabil an.

Die Füllung der Schürze mit der eingeblasenen Luft, sowie die Ausbildung des Luftkissens unterhalb des Gleiters, waren gut, wodurch die Reibung ausreichend vermindert wurde. Auch mit der zusätzlichen Masse des horizontalen Motors war ein Gleiten möglich und mit aktiviertem Motor stellte sich eine merkliche Beschleunigung des Luftkissengleiters ein.

#### **6.13.4. Resümee**

Während sich die Bodenplatte, die untere Motorhalterung, die Unterstützungsdreiecke, sowie die vertikale Platte gut fertigen ließen, stellten sich die Haken für das Gummiband und die obere Motorhalterung drucktechnisch als problematisch dar. Der Druck der überhängenden Motorhalterung verlangsamte, wegen des erforderlichen Unterbaus, die Fertigung erheblich und verbrauchte eine zusätzliche Menge an Druckfilament. Die Langlöcher für die exakte Positionierung der Kabel, sowie die Luftschlitze zur Verbesserung des Luftdurchstromes wurden zufriedenstellend gedruckt.

Der Aufbau zeigte sich, für den Betrieb des Luftkissengleiters, als gut geeignet, wobei noch einige Verbesserungen bezüglich des Akku-Stecksystems, sowie der Stabilität des Aufbaus durchgeführt werden mussten. Vorschläge hierzu sind in der nachfolgenden Version 7.2 unter Anforderungen aufgelistet.

#### **6.14. Version 7.2**

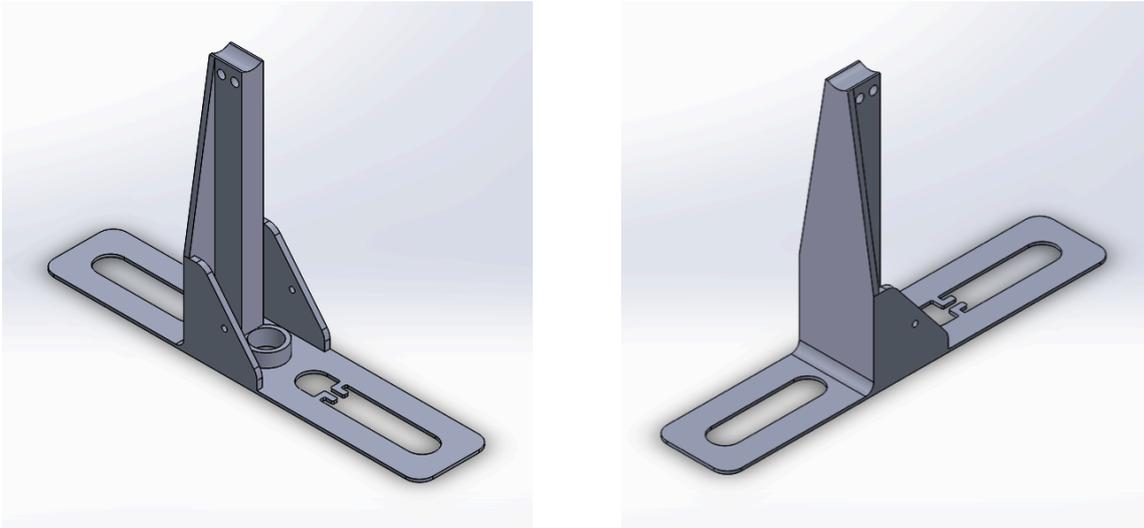
##### **6.14.1. Anforderungen**

- Die vertikale Strebe mit der Motorhalterung soll stabiler gestaltet werden.
- Die horizontale Motorhalterung soll so konstruiert werden, dass beim 3D-Druck keine aufwändige Unterstützungsstruktur mehr notwendig ist.
- Die Hakenkonstruktion für das Gummiband des Akku-Stecksystems soll überarbeitet werden.

##### **6.14.2. Umsetzung**

Um die vertikale Strebe zu verstärken und gleichzeitig die Notwendigkeit eines Unterstützungsdrucks zu vermeiden, wurde die Motorhalterung auf einer permanenten Stütze platziert (siehe Abbildung 27). In den 3D-Druckeinstellungen des Slicer-Programms wurde für die Stütze eine Wabenstruktur anstatt eines optionalen Vollmaterials gewählt (6.12.2. „Verwendung von 3D-Druckverfahren“). Die vertikale Platte aus der Version 7.1 wurde an die Stütze angepasst, sodass sie sich nach oben hin verjüngte. Die verbliebene Struktur der Platte bildete den vorderen Anschlag der Akkus. Während der vertikale Motor mit Heißkleber befestigt wurde, wurde der horizontale Motor mit Kabelbinder auf der Motorhalterung fixiert. Die Kabelbinder wurden durch

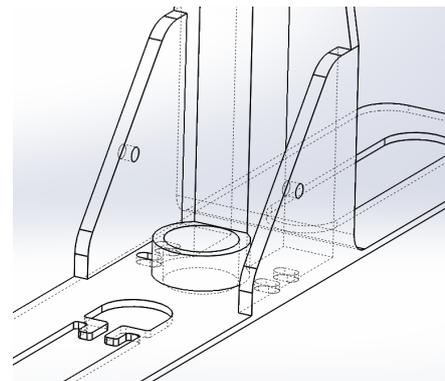
die in Abbildung 27 ersichtlichen Löcher gefädelt und befestigten den horizontalen Motor mittig auf der dafür vorgesehenen, abgerundeten Fläche.



**Abbildung 27: 3D-Darstellungen der Version 7.2.**

Die Kupferlötplatte mitsamt dem Schaltersystem wurde, so wie bei den vorhergehenden Versionen, auf dem hinteren Ende des Gleiters positioniert und mit Klebeband befestigt.

Das Akku-Stecksystem wurde überarbeitet und in dieser Version mit zwei Haken realisiert, welche in das hintere Langloch eingearbeitet wurden (siehe Abbildung 28). Die beiden Gummibänder wurden hier jeweils durch ein Loch im Unterstützungsdreieck gefädelt und verknotet. Um die Akkukontakte nach unten auf die Kontakte der Kabel zu drücken, wurden die Gummibänder über die Akkus nach innen geführt, um sie anschließend in die Haken einzuhängen. Durch die Anordnung der Haken bzw. der Löcher in den Unterstützungsdreiecken war es möglich die Akkus nach vorne unten zu spannen, wodurch die Verbindung mit den Kabelkontakten gewährleistet wurde.



**Abbildung 28: Akku-Stecksystem der Version 7.2.**

### **6.14.3. Ergebnisse**

Die permanente Stütze, welche gleichzeitig auch als Motorhalterung diente, erwies sich als sehr nützlich. Die Stabilität der vertikalen Konstruktion wurde dadurch erheblich verbessert. Durch die gewählte Wabenstruktur im Inneren der vertikalen Stütze, wurde der Materialverbrauch des 3D-Drucks im Vergleich zur Version 7.1 verringert. Als Grund

dafür ist zu nennen, dass für die vorhergehende Version 7.1 ein umständlicher Unterstützungsdruk notwendig war. Die neue Motorhalterung positionierte den horizontalen Motor, durch die abgerundete Auflagefläche, mittig und fest auf der vertikalen Stütze.

Die Gleiteigenschaften waren, im Vergleich zu den Versionen 7.0 und 7.1 unverändert gut.

Mit der zusätzlichen Last von Akkus, Motoren und Schalter, bog sich die Bodenplatte im Betrieb leicht durch. Die Verminderung der Stabilität in der horizontalen Bodenplatte könnte auf das Hinzufügen der Langlöcher zurückzuführen sein.

#### **6.14.4. Resümee**

Die Fixierung des horizontalen Motors mit Hilfe von Kabelbindern zeigte sich als eine gute und einfache Alternative zum Heißkleber. Heißkleber verflüssigt sich wieder, wenn die Betriebstemperatur der Motoren in einen gewissen Bereich steigt. Dadurch könnte, bei zeitlich ausgedehntem Betrieb, die Positionierung des vertikalen Motors beeinflusst werden. Aus diesem Grund soll auch der vertikale Motor mit einem Kabelbinder fixiert werden.

Um eine elegantere Lösung für die Schalterpositionierung zu finden und gleichzeitig die Möglichkeiten des 3D-Drucks zu nutzen, sollen die Schalter ebenfalls in den Aufbau integriert werden.

Das Akku-Stecksystem in dieser Ausführung (Version 7.2) erfüllte zwar seinen Zweck und stellte den Kontakt zwischen Akkus und Kabeln gut her, jedoch war die Erreichbarkeit der Haken im hinteren Langloch sehr schwierig.

Obwohl die Beschleunigung des Luftkissengleiters eindeutig ersichtlich war, muss überprüft werden, ob die Beschleunigung eine ausreichende Konstanz aufweist um für den Unterrichtsgang des Münchner Mechanikkurses geeignet zu sein.

### **6.15. Version 7.3**

#### **6.15.1. Anforderungen**

- Die Bodenplatte muss verstärkt werden.
- Das Akku-Stecksystem muss hinsichtlich der Erreichbarkeit der Haken für die Gummibänder verbessert werden.
- Das Schaltersystem soll in den 3D-gedruckten Aufbau integriert werden.

- Die Motorhalterung für den vertikalen Motor soll mit einem Kabelbinder realisiert werden.

### 6.15.2. Umsetzung

In Abbildung 29 ist der Aufbau der aktuellen Version 7.3 ersichtlich.

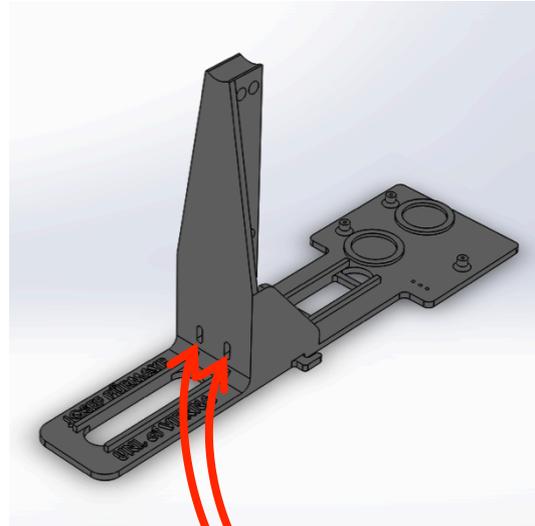
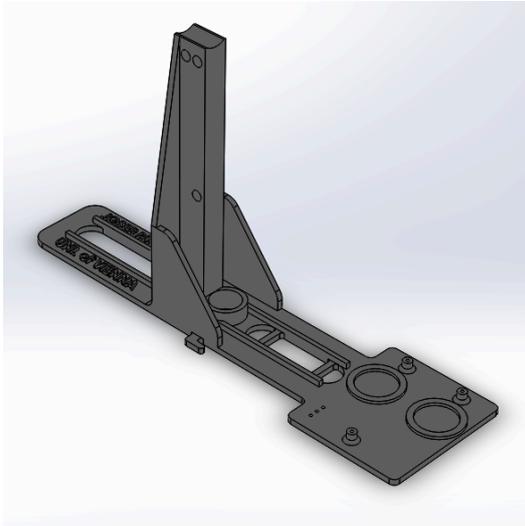


Abbildung 29: 3D-Darstellungen der Version 7.3.

Die Bodenplatte wurde durch Streben verstärkt, welche beiderseits der Langlöcher angeordnet waren. Die Streben dienten, neben ihrer Stabilisierungsfunktion, als innere Führungen an denen die Akkus ausgerichtet wurden (siehe 6.12.5. „Akku-Stecksystem“).

Die Motorhalterung des vertikalen Motors wurde, in dieser Version, mit Hilfe eines Kabelbinders realisiert. Die Ausnehmungen dafür sind in Abbildung 29 und Abbildung 30 ersichtlich. Der Kabelbinder wird um den Motor geführt und nach dem Festziehen zur vertikalen Strebe gezogen. Die seitliche Positionierung wird von der zylindrischen Motorausnehmung (siehe Abbildung 30) gewährleistet.

Im hinteren Langloch wurden zwei kurze Streben eingezogen (siehe Abbildung 29 und Abbildung 30). Bei der Verkabelung können diese für die Kabelführung verwendet werden, um zu verhindern, dass die Kabel in den Propeller gelangen.

Ausschnitte für die vertikale Motorhalterung

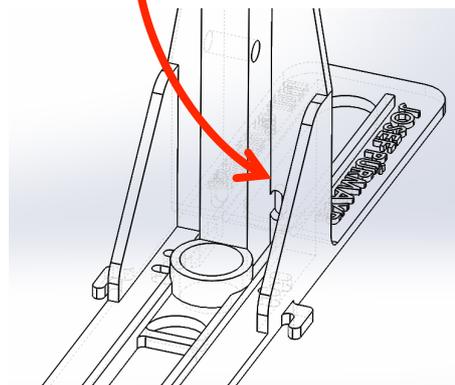
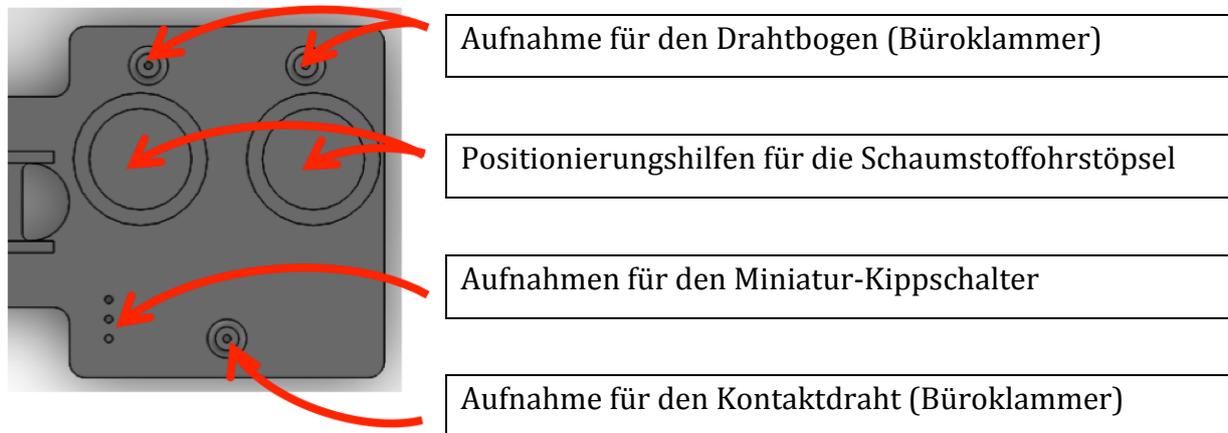


Abbildung 30: Ausschnitte für die vertikale Motorhalterung.

Am hinteren Ende des Aufbaus wurde eine Platte (Schalterplatte) hinzugefügt, welche Platz für die Schalter bietet (siehe Abbildung 22, Abbildung 29 und Abbildung 31). In Abbildung 31 sind die Bestandteile der Platte ersichtlich und benannt.



**Abbildung 31: Bestandteile der Schalterplatte.**

Die Aufnahmen für die gebogenen Büroklammern wurden als kleine 3D-gedruckte Zylinder realisiert, welche in der Mitte ein kreisrundes Loch aufweisen (siehe Abbildung 31). In diese Löcher werden die gebogenen Büroklammern gesteckt und so mit dem Aufbau verbunden. Die drei vorgefertigten Aufnahmen für die Miniatur-Kippschalter (siehe Abbildung 31) sind laut Norm DIN EN 60097 mit 2,54 mm im Abstand bemessen. Die Pins des Kippschalters werden auf der Aufbauunterseite mit den Kabeln verlötet. In Abbildung 31 sind Positionierungshilfen für die Schaumstoffohrstöpsel ersichtlich, in welche die Zeitverzögerungsmechanik (siehe Abbildung 19) eingebracht wird.

Auf der Vorderseite des Luftkissengleiters wurde mit dem 3D-Drucker ein erhabener Schriftzug eingearbeitet (siehe Abbildung 29 und Abbildung 30):

JOSEF PÜRMAJR  
UNI. of VIENNA

Die Haken für das Akku-Stecksystem wurden überarbeitet und an der Außenseite des Aufbaus platziert (siehe Abbildung 30). In der aktuellen Version 7.3 wird wieder ein einfaches langes Gummiband verwendet. Das Gummiband wird durch das, in Abbildung 30 abgebildete, Loch gefädelt und, wie unter dem Punkt 6.12.5. „Akku-Stecksystem“ gezeigt, über die Akkus geführt, um schließlich mit Hilfe der Haken befestigt zu werden.

In der nachfolgenden Abbildung 32 ist der komplettierte Luftkissengleiter in der Version 7.3 zu sehen.



Abbildung 32: Komplettierter Luftkissengleiter der Version 7.3.

In der Version 7.3 wurden, so wie in den vorhergehenden Versionen 6.0, 7.0, 7.1 und 7.2, keine Veränderungen am Unterbau vorgenommen.

### 6.15.3. Ergebnisse und Resümee

Durch die, an der Bodenplatte, hinzugefügten Streben wurde der Aufbau stabilisiert und selbst im Betrieb lassen sich keine Verwindungen mehr feststellen.

Die überarbeiteten Haken und das hinzugefügte Loch in der vertikalen Stütze für das Akku-Stecksystem (Gummiband) zeigten sich als sehr praktikabel. Die Akkus können dadurch schnell und problemlos getauscht werden.

In der aktuellen Version 7.3 wurde für die Halterung des vertikalen Motors ebenfalls ein Kabelbinder verwendet, wodurch der Zusammenbau vereinfacht und die Befestigung unempfindlich gegenüber der Betriebstemperatur des Motors wurde. Durch die Integration des Schaltersystems in die Schalterplatte wurde ein weiterer Vorteil des 3D-Druckers ausgenutzt, indem dieser die benötigten Anschlüsse vordruckt. Für die Verwendung müssen die vorgedruckten Ausnehmungen nur mehr mit einem 1 mm-Bohrer nachgebohrt werden.

Die Gleiteigenschaften änderten sich im Vergleich zu den vorherigen Versionen 7.0, 7.1 und 7.2 nicht.

In Hinblick auf die überspannende Anforderung an das Projekt einen preiswerten und gleichzeitig einfach zu bauenden Luftkissengleiter zu schaffen, werden nachfolgend (Tabelle 1) die einzelnen Komponenten und deren Beschaffungskosten aufgelistet. Die

Abbildung 33 zeigt eine farbcodierte Explosionsdarstellung der Version 7.3. Der Farbcode ist auch in der Tabelle 1 ersichtlich. Um die Möglichkeit der Erweiterung des Luftkissengleiters offen zu halten, wurde ein etwas kostenintensiverer Miniaturschalter (drei Schaltstellungen) gewählt. Die zusätzliche Schaltstellung kann für eine abgestufte (höhere / niedrigere) Drehzahl des horizontalen Motors genutzt werden.

Tabelle 1: Auflistung der Komponenten der Version 7.3.

Komponenten	Anzahl /	Einzelkosten [€]	Anmerkungen
Styroportasse	1	0	Haushaltsgegenstand
Kabelbinder	3	0	Haushaltsgegenstand
Schaumstoffohrstöpsel	2	0	Haushaltsgegenstand
Klebeband	1 m	0	Haushaltsgegenstand
Müllsack	1	0	Haushaltsgegenstand
Büroklammern	3	0	Haushaltsgegenstand
Aufbau	1	0,25	3D-Druck – Druckkosten <sup>4</sup>
Vertikaler Rotor	1	0,05	3D-Druck – Druckkosten <sup>2</sup>
Horizontaler Rotor	1	0,05	3D-Druck – Druckkosten <sup>2</sup>
Motor <sup>5</sup>	2	0,73	Ankaufteil
Miniatur-Kippschalter <sup>6</sup>	1	3,09	Ankaufteil
Kabel <sup>5</sup>	0,4 m	0,07	Ankaufteil
Akku für Mobiltelefon	2	0	Aus Recyclingzentren

**Gesamtkosten: € 4,97 pro Luftkissengleiter (ohne Akkus).**

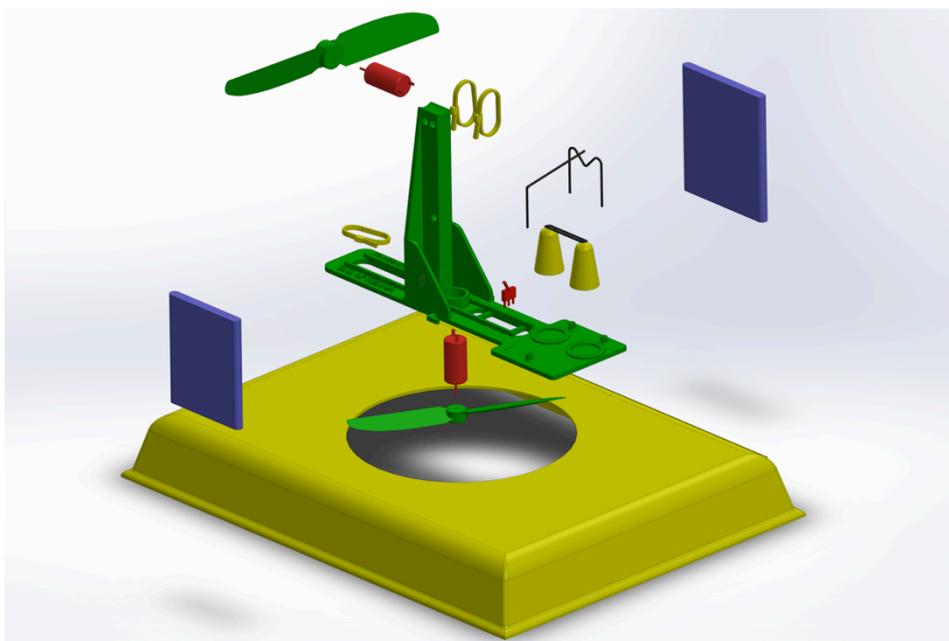


Abbildung 33: Farbcodierte Explosionsdarstellung der Version 7.3. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Kabelverbindungen sowie die Schürze (Müllsack) nicht abgebildet.

<sup>4</sup> Bei vorhandenem 3D-Drucker. Druckkosten können variieren.

<sup>5</sup> Bezogen von: <http://www.dx.com> Jtron High Speed Cylindrical DC Motor (Januar 2016)

<sup>6</sup> Bezogen von: [www.conrad.at](http://www.conrad.at) (Februar und März 2016)

## **7. Testung des Luftkissengleiter auf die Konstanz der Zusatzgeschwindigkeit**

Damit der Luftkissengleiter für zweidimensionale Mechanikkonzepte geeignet ist, soll eine konstante Zusatzgeschwindigkeit pro Zeitintervall, über eine möglichst lange Zeit aufrecht erhalten werden können. Aus diesem Grund wurde die finale Version 7.3 auf die Konstanz der Zusatzgeschwindigkeit getestet.

### **7.1. Setting**

Die Gesamtmasse des getesteten Luftkissengleiters betrug  $(125 \pm 3)$  g (inklusive Akkus und Balancemassen). Beide Akkus waren vollständig geladen und die Kontakte waren gereinigt. Der Versuch wurde in den Räumlichkeiten des AECC Physik der Universität Wien durchgeführt. Der Untergrund war ein Parkettboden, welcher aus dünnen Holzsegmenten (150 x 7 mm) bestand. Die Testung wurde linear in Richtung der Ausrichtung der Holzsegmente durchgeführt, wodurch sich nach jeweils 150 mm Länge eine leicht spürbare Kante ergab. Der Boden wurde vor dem Experiment mit einem Kehrbesen gereinigt. Ebenso wurde die Unterseite des Luftkissengleiters mit einem Tuch abgestaubt.

### **7.2. Durchführung**

Die Messung der Zusatzgeschwindigkeit wurde mit Hilfe eines Smartphones (SAMSUNG Galaxy S5) und dessen Kamera durchgeführt. Dazu wurde ein Kamerastativ ausgefahren und das Smartphone so auf einer Höhe von 2,10 m platziert. Die Kamera wurde dabei nach unten ausgerichtet und der Boden als Referenz scharf gestellt.

Getestet wurde die geradlinig beschleunigte Bewegung, mit dem Zeitschalter als Auslöser. Als Startpunkt des Luftkissengleiters wurde der äußerste Rand des Aufnahmebereichs der Kamera gewählt. Dort wurde der Luftkissengleiter mit eingeschaltetem vertikalen Antrieb und aktiviertem Zeitschalter platziert. Nach erfolgter Aktivierung des horizontalen Antriebs, passierte der Luftkissengleiter den gesamten Aufnahmebereich der Kamera in einer annähernd geradlinigen Bewegung.

Die Auswertung der Bewegung wurde mit dem Videoanalyseprogramm *Tracker* durchgeführt und die Daten mit dem Datenauswertungsprogramm *QTI-Plot* ausgewertet. Abbildung 34 zeigt die zurückgelegte Strecke in Abhängigkeit der Zeit. In

Abbildung 35 ist das Tempo in Abhängigkeit der Zeit aufgetragen. In beiden Diagrammen ist die Ordinatenachse einheitenlos.

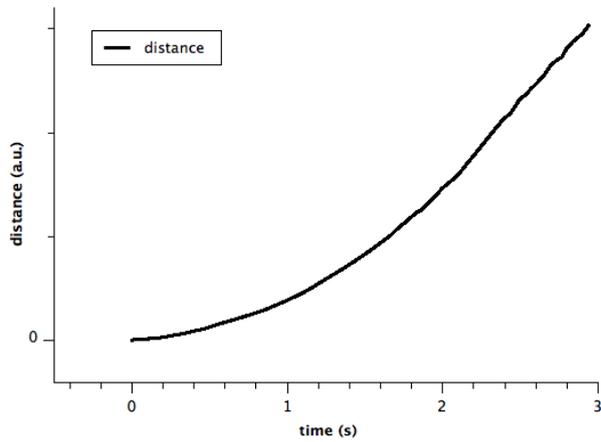


Abbildung 34: s - t Diagramm der Testung.

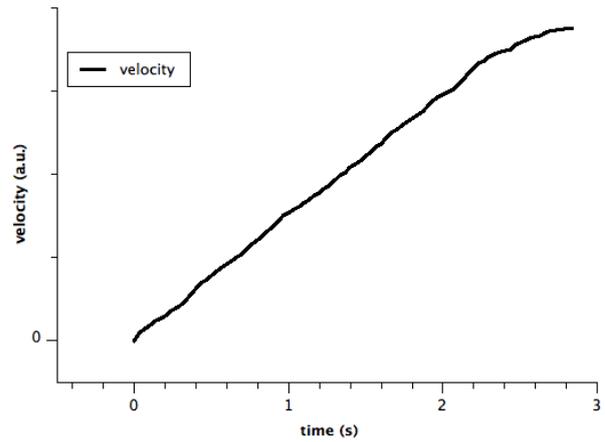


Abbildung 35: v - t Diagramm der Testung.

In der nachfolgenden Abbildung 36 ist die Zusatzgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit aufgetragen. Ebenso wie in den vorangehenden Diagrammen ist auch hier die Ordinatenachse einheitenlos.

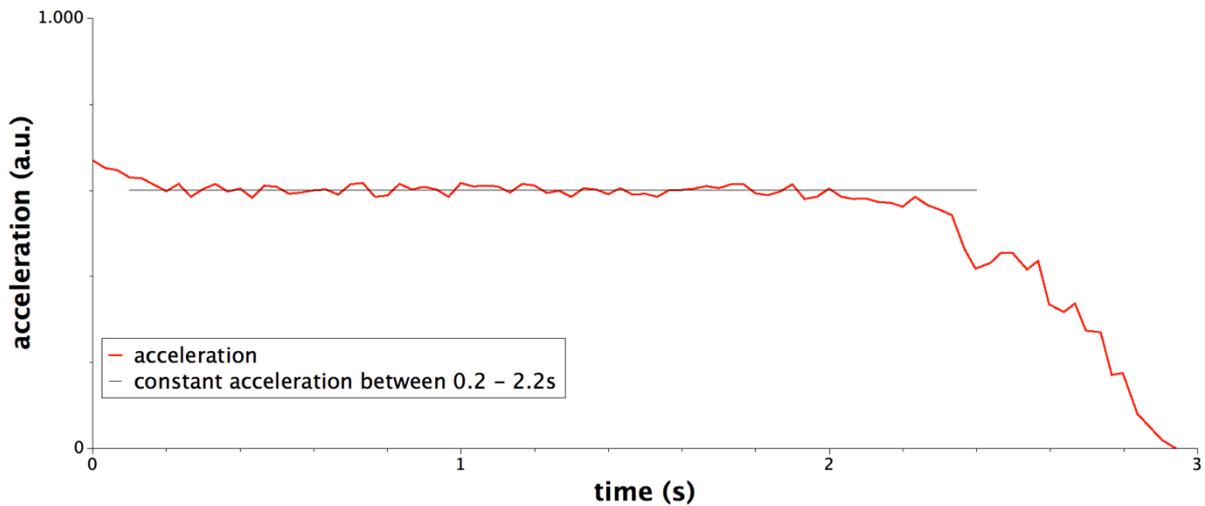


Abbildung 36: a - t Diagramm der Testung.

Die Zusatzgeschwindigkeit pro Zeitintervall des Luftkissengleiters kann zwischen  $t= 0,2$  s und  $t= 2,2$  s als annähernd konstant angesehen werden.

## **8. Mögliche Experimente mit dem Luftkissengleiter**

### **8.1. Voraussetzungen für den Betrieb**

Um einen optimalen Betrieb gewährleisten zu können, müssen einige Rahmenbedingungen erfüllt sein. Da der Luftkissengleiter, aufgrund seiner geringen Masse, auf Untergrundunregelmäßigkeiten empfindlich reagiert, muss der Boden staub- und schmutzfrei sein. Auch kleine Fremdkörper haben einen, vom Untergrundmaterial abweichenden, Reibungskoeffizienten (siehe 5.2. Physik eines Luftkissengleiters). Dadurch kommt es an den verschmutzten Stellen (meist) zu einer Reibungserhöhung, was wiederum in einer unerwünschten Richtungsänderung des Luftkissengleiters resultiert.

Der Untergrund, auf dem sich der Luftkissengleiter bewegt, sollte für einen optimalen Betrieb möglichst eben sein. So kann sichergestellt werden, dass Luft gleichmäßig über alle Randsegmente des Luftkissengleiters entweicht und so die Reibung entlang des Randes gleichmäßig minimiert wird.

Wie in 5.2. „Physik eines Luftkissengleiters“ ausgeführt, müssen die Positionen der Einzelmassen so gewählt werden, dass der Schwerpunkt in der Achse des vertikalen Motors liegt. Trotz aller Bemühungen den Luftkissengleiter nach diesen Vorsätzen zu fertigen, gibt es doch in der Endausführung Abweichungen des Gesamtschwerpunkts von der vertikalen Achse. Beispielhafte Begründungen für die ungleiche Masseverteilung sind: Ungleiche Masse der Akkus, ungleichmäßige Verwendung von Klebestreifen und unsymmetrische Ausschnitte des Unterbaus. Die Abweichungen können durch Balancemassen ausgeglichen werden. Als Balancemassen werden, um die Kosten so gering wie möglich zu halten, Büroklammern verwendet. Die Büroklammern werden mit einem Klebestreifen zusammengeklebt, um so gut variierbare Balancemassen zu schaffen. Durch einfaches Hinzufügen / Wegnehmen von Büroklammern kann der Luftkissengleiter nachjustiert werden.

Je nach gewünschter Bewegung muss der Luftkissengleiter spezifisch ausbalanciert werden. In den zwei nachfolgenden Punkten, (8.2. „Zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung“ und 8.3. „Eindimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung“) werden die Anordnungen der Balancemassen für jede Bewegung ausgeführt.

## 8.2. Zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung

Mit Hilfe des Luftkissengleiters können zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegungen dargestellt werden. Dabei wird der Luftkissengleiter in einer Richtung mit einem Anfangstempo versehen. In einer Richtung normal zur Anfangsbewegung wird der Luftkissengleiter durch den horizontalen Luftstrom gleichförmig beschleunigt (siehe 7. „Testung des Luftkissengleiter auf die Konstanz der Beschleunigung“, Abbildung 37 und Abbildung 38)

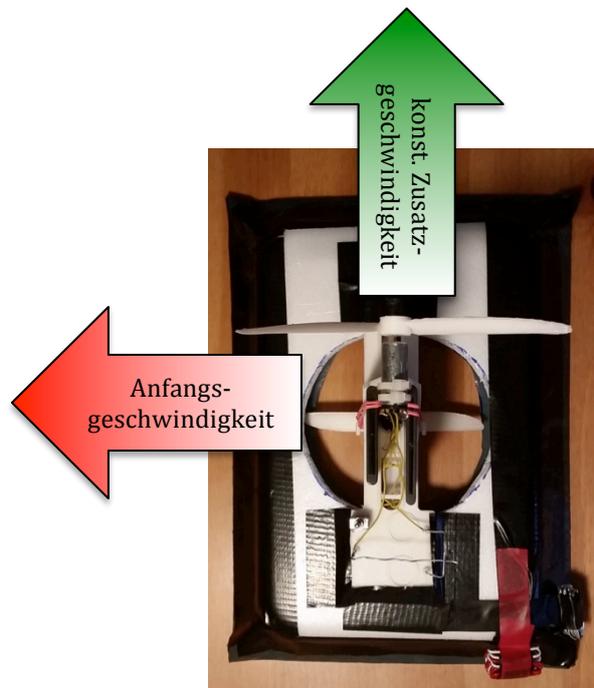
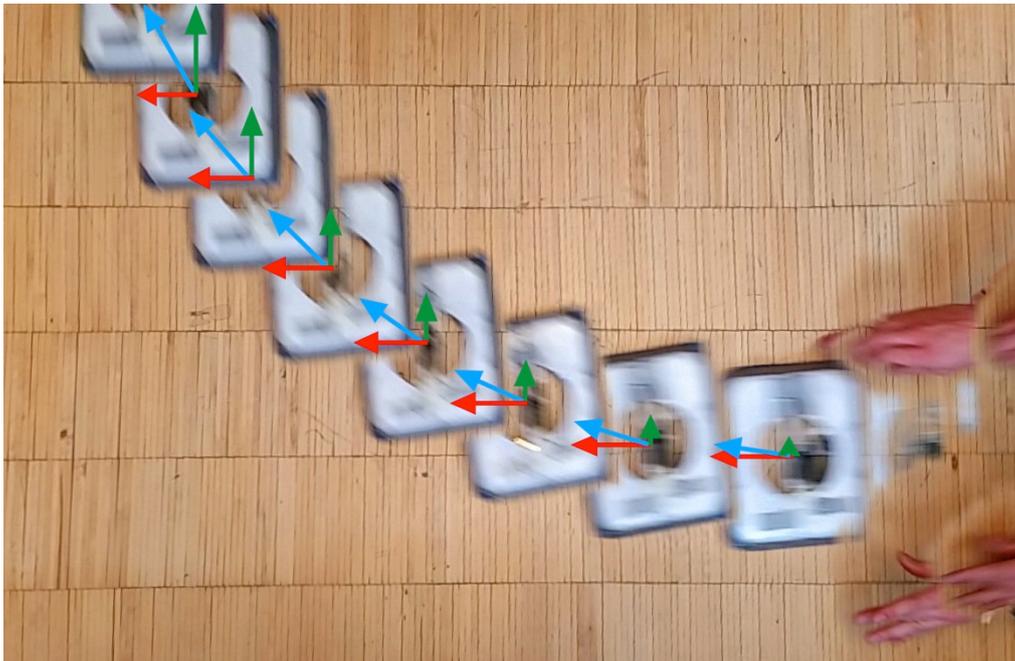


Abbildung 37: Richtungen der konstanten Geschwindigkeit und der konstanten Zusatzgeschwindigkeit.



**Abbildung 38:** Darstellung einer zweidimensionalen Bewegung. Konstante Geschwindigkeit in einer Richtung in Kombination mit einer gleichförmig beschleunigten Bewegung in einer Richtung normal zur gleichförmigen Bewegung.

Die Abbildung 38 wurde mit einer Smartphone – Applikation „Motion Shot“ erstellt.

Es sind in der dargestellten zweidimensionalen Bewegung die Anfangsgeschwindigkeit (rot), die Zusatzgeschwindigkeit (grün) und die resultierende Geschwindigkeit (blau) als Pfeile eingezeichnet. Die resultierende Geschwindigkeit in jedem Punkt ergibt sich aus der Vektoraddition der Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeit.

Wie in Abbildung 38 erst bei genauerem Hinsehen erkennbar ist, nimmt das Tempo der Anfangsgeschwindigkeit ab. Obwohl die Reibung durch das, unter dem Gleiter ausgebildete, Luftkissen stark vermindert ist, besteht nach wie vor ein geringer Reibungswiderstand zwischen Untergrund und Luftkissengleiter.

In Abbildung 39 ist die Konfiguration der Balancemassen ersichtlich, welche für die Bewegung in Abbildung 38 erforderlich sind. Für die zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung werden zwei Balancemassen benötigt. In



**Abbildung 39:** Position der Balancemassen für zweidimensionale Bewegungen.

Abbildung 39 sind in der vergrößerten Ansicht beide Massen ersichtlich (rotes Klebeband und schwarzes Klebeband). Obwohl die Balancemassen für jeden Luftkissengleiter speziell angepasst werden müssen, um das gewünschte Resultat zu erlangen, so bleibt die Position der Balancemassen, unabhängig von der Bewegung, dieselbe (siehe 8.4. „Physikalische Erklärung der Balancemassenposition“).

### 8.3. Eindimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung

Auch eindimensionale Bewegungen mit konstanter Zusatzgeschwindigkeit können mit dem Luftkissengleiter gezeigt werden. Der vertikale Antrieb wird aktiviert und der Luftkissengleiter auf dem Untergrund platziert. Um den Versuch nicht durch äußere Einflüsse zu manipulieren, wird der Versuch mit Hilfe des Zeitschalters nach etwa fünf Sekunden gestartet. So wie im Punkt 4. „Ein Unterrichtsmaterial für zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegungen“ beschrieben, weist die Beschleunigung mit Ventilatoren erhebliche Vorteile gegenüber der Verwendung von Gravitation als Quelle der Beschleunigung auf (Morse, 2005). Der Luftkissengleiter kann, so wie die *Fan Driven Carts* (Morse, 1993) verwendet werden, wobei Morse's Ansatz dem Luftkissengleiter in einigen Punkten überlegen ist. Die eindimensional beschleunigten Wagen weisen einen geringeren Reibungswiderstand als der Luftkissengleiter auf. Darüber hinaus können mehrere Antriebsventilatoren aufgebaut werden und optional Massestücke auf den Wagen platziert werden. Allerdings werden für den Luftkissengleiter keine Schienen benötigt und die Anschaffungskosten der von Morse (1993) verwendeten PESCO Wagen und das passende Zubehör sind exorbitant höher als die Gesamtkosten eines Luftkissengleiters.

In Abbildung 40 ist eine gleichförmig beschleunigte Bewegung dargestellt. Diese Abbildung wurde, ebenso wie Abbildung 38, mit einer kostenlosen Smartphone-Applikation (*Motion Shot*) aufgenommen.



Abbildung 40: Darstellung einer eindimensionalen, gleichförmig beschleunigten Bewegung.

In Abbildung 41 sind die Positionen der Balancemassen für eine eindimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung dargestellt. Im vergrößerten Bildausschnitt ist deutlich zu erkennen, dass, im Vergleich zur zweidimensionalen Bewegung, die Balancemasse mit dem roten Klebeband entfernt wurde und nur mehr eine Balancemasse (schwarzes Klebeband) auf dem Luftkissengleiter verbleibt.



Abbildung 41: Position der Balancemassen für eindimensionale Bewegungen.

#### 8.4. Physikalische Erklärung der Balancemassenposition

Durch die Massenanordnung des Luftkissengleiters um den Schwerpunkt kann die Druckverteilung an den Randseiten des Luftkissengleiters als konstant angesehen werden (5.2. „Physik eines Luftkissengleiters“ und Formel ( 5 )). Im Betrieb kommt es jedoch zu *zusätzlichen*, am Rand des Gleiters ungleich verteilten Kompensationskräften. In diesem Punkt werden diese zusätzlich auftretenden Kompensationskräfte, sowie die damit verbundenen, erhöhten Reibungswiderstände behandelt.

Für beide vorgestellten Bewegungsarten (8.2. „Zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung“ und 8.3. „Eindimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung“) müssen Balancemassen am Luftkissengleiter hinten rechts angebracht werden. Als Erklärung dafür lassen sich zwei Gründe (8.4.1 und 8.4.2) nennen:

##### 8.4.1. Luft- und Reibungswiderstand des horizontalen Rotors

Durch den Luftwiderstand des horizontalen Rotors in der Bildebene der Abbildung 42 und durch leichte Reibungsverluste innerhalb des antreibenden Motors, wirkt ein Drehmoment auf den Luftkissengleiter. Die Drehrichtung ist in Abbildung 42 und das Drehmoment ist in Abbildung 43 blau eingezeichnet. Das Drehmoment äußert sich

durch einen erhöhten Druck auf den rot-orange-gelb markierten Rand (Abbildung 42) wodurch die Reibung auf der linken Randseite erhöht wird. Der Farbverlauf des Randes in Abbildung 42 stellt schematisch den Druckverlauf dar. Die Farbe Rot steht für einen hohen und die Farbe Gelb für einen geringen *zusätzlichen* Druck, welcher im Betrieb des horizontalen Motors vom Untergrund auf den Luftkissengleiter wirkt.

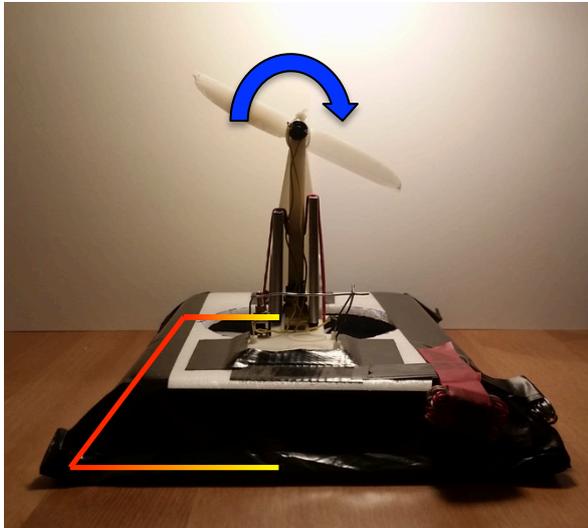


Abbildung 42: Darstellung mit eingezeichneter Rotordrehrichtung und erhöhter Druckverteilung. Ansicht von hinten.

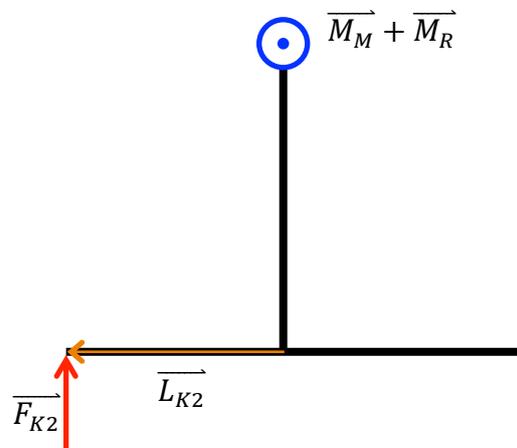


Abbildung 43: Schematische Darstellung von hinten mit wirkendem Drehmoment, zusätzliche Kompensationskraft und dessen Abstand zur Schwerachse.

$\overline{F_{K1}}$	Kompensationskraft allgemein – siehe Formel ( 5 )	[N]
$\overline{F_{K2}}$	Zusätzliche Kompensationskraft durch die Drehmomente durch Luft- und Motorwiderstand	[N]
$\overline{L_{K2}}$	Länge des Abstandes zwischen Drehachse und Angriffspunkt von $\overline{F_{K2}}$	[m]
$\overline{M_M}$	Drehmoment des Motors durch inneren Reibungswiderstand	[Nm]
$\overline{M_R}$	Drehmoment des Rotors durch Luftwiderstand	[Nm]
$\overline{F_{R-links}}$	Reibungswiderstand an der linken Seite des Luftkissengleiters	[N]
$\overline{F_{R-rechts}}$	Reibungswiderstand an der rechten Seite des Luftkissengleiters	[N]
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit	$\left[\frac{rad}{s}\right]$
$T$	Temperatur	[K]
$A(r)$	Anströmfläche (abhängig von der Geometrie des Rotors)	[m <sup>2</sup> ]
$r$	Radius des Rotors	[m]
$c_w$	Strömungswiderstandskoeffizient	[ ]
$\mu$	Reibungskoeffizient	[ ]

In Abbildung 43 ist eine schematische Darstellung der wirkenden Drehmomente  $\overline{M_M} + \overline{M_R}$ , der zusätzlichen Kompensationskraft  $\overline{F_{K2}}$  und des Abstandes  $\overline{L_{K2}}$  zu sehen. In Formel ( 7 ) ist die Kompensation der Drehmomente  $\overline{M_M}$  und  $\overline{M_R}$  durch das, von der Kompensationskraft  $\overline{F_{K2}}$  und dem Abstand  $\overline{L_{K2}}$  aufgebrachte, Gegendrehmoment mathematisch dargestellt.

$$\overrightarrow{F_{K2}} \times \overrightarrow{L_{K2}} = \overrightarrow{M_M}(\omega, T) + \overrightarrow{M_R}(A(r), r, c_w, \omega) \quad (7)$$

Um die mathematische Herleitung der Reibungskraft übersichtlicher und praktikabler zu gestalten, wird nachfolgend die vektorielle Formalschreibweise ausgespart und stattdessen mit den Beträgen der jeweiligen Größen gerechnet.

$$F_{K2} \cdot L_{K2} = M_M + M_R \quad (8)$$

$$F_{K2} = \frac{M_M + M_R}{L_{K2}} \quad (9)$$

Die resultierende Reibungskraft auf der linken Seite des Luftkissengleiters ergibt sich durch die konstante Kompensationskraft  $F_{K1}$  (Formel ( 5 ) ) und der zusätzlichen Kompensationskraft  $F_{K2}$  zu:

$$F_{R-links} = (F_{K1} + F_{K2}) \cdot \mu \quad (10)$$

Durch Substitution der zusätzlichen Kompensationskraft  $F_{K2}$  (Formel ( 10 )) durch den, in Formel ( 9 ) dargestellten Zusammenhang, ergibt sich für die Reibungskraft auf der linken Seite:

$$F_{R-links} = (F_{K1} + \frac{M_M + M_R}{L_{K2}}) \cdot \mu \quad (11)$$

$$F_{R-rechts} = F_{K1} \cdot \mu \quad (12)$$

Im Vergleich der beiden Formeln ( 11 ) und ( 12 ) ist die Erhöhung des Reibungswiderstandes auf der linken Luftkissenseite durch den Einfluss der Luft- und Motorreibung ersichtlich.

$$F_{R-links} > F_{R-rechts} \quad (13)$$

Um die erhöhte Reibung auf der, in der Abbildung 42 markierten, linken Seite, auszugleichen, muss auf der gegenüberliegenden Seite eine zusätzliche Masse angebracht werden.

Diese Balancemasse ist, unabhängig von der angestrebten Bewegung, am Luftkissengleiter zu befestigen, da sie für eindimensionale, sowie für zweidimensionale

Bewegungen essentiell ist. Die Balancemasse (schwarzes Klebeband) ist in den Abbildungen Abbildung 39 und Abbildung 41 für beide Bewegungen ersichtlich.

Die Notwendigkeit der Positionierung der Masse am hinteren Ende des Luftkissengleiters (Abbildung 7) wird im nachfolgenden Punkt 8.4.2. „Drehmoment des aktivierten horizontalen Motors“ ausgeführt.

### 8.4.2. Drehmoment des aktivierten horizontalen Motors

Der Farbverlauf des Randes in Abbildung 44 stellt, so wie in Abbildung 42, schematisch den Druckverlauf dar. Die Farbe Rot steht für einen hohen und die Farbe Gelb für einen niedrigen *zusätzlichen* Druck, welcher durch den Betrieb des horizontalen Motors vom Untergrund auf den Luftkissengleiter wirkt.

Der aktivierte horizontale Motor erzeugt durch seinen Antrieb nicht nur Vortrieb, sondern, durch die erhöhte Position, auch ein Drehmoment, welches die Reibung an der Vorderseite des Luftkissengleiters erhöht. In Abbildung 44 ist die beschleunigend wirkende Schubkraft  $\vec{F}_S$  und der Abstand zum Drehpunkt  $\vec{L}_S$ , sowie die zusätzliche Kompensationskraft  $\vec{F}_{K3}$  und der Abstand zum Drehpunkt  $\vec{L}_{K3}$  eingezeichnet.

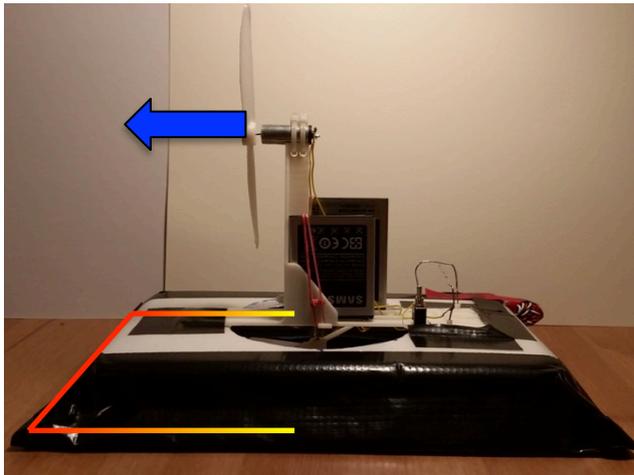


Abbildung 44: Darstellung mit eingezeichnetem Vortrieb durch den horizontalen Antrieb und erhöhter Druckverteilung. Ansicht von links.

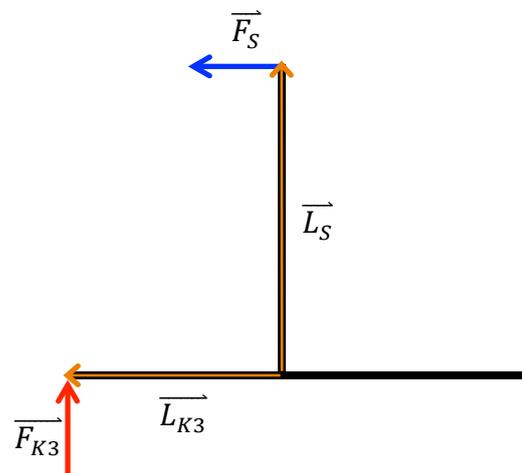


Abbildung 45: Schematische Darstellung von links mit den wirkenden Kräften und den relevanten Abständen.

In Formel ( 14 ) ist die Kompensation des, durch die Kraft  $\vec{F}_S$  und dem Abstand  $\vec{L}_S$ , erzeugten Drehmoments durch das, von der Kompensationskraft  $\vec{F}_{K3}$  und dem Abstand  $\vec{L}_{K3}$  aufbrachte, Gegendrehmoment mathematisch dargestellt.

$$\overline{F_{K3}} \times \overline{L_{K3}} = \overline{F_S}(A(r), r, c_w, \omega) \times \overline{L_S} \quad (14)$$

Analog zur mathematischen Ausführung in 8.4.1. „Luft- und Reibungswiderstand des horizontalen Rotors“, ergibt sich der nachfolgende Zusammenhang ( 15 ):

$$F_{R-vorne} > F_{R-hinten} \quad (15)$$

$\overline{F_{K3}}$	Kompensationskraft durch das Drehmoment durch die Schubkraft	[N]
$\overline{L_{K3}}$	Länge des Abstandes zwischen Drehachse und Angriffspunkt von $\overline{F_{K3}}$	[m]
$\overline{F_S}$	Schubkraft des Motors und Rotors	[N]
$\overline{F_{R-vorne}}$	Reibungswiderstand an der linken Seite des Luftkissengleiters	[N]
$\overline{F_{R-hinten}}$	Reibungswiderstand an der rechten Seite des Luftkissengleiters	[N]
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit	$\left[\frac{rad}{s}\right]$
$A(r)$	Anströmfläche (abhängig von der Geometrie des Rotors)	[m <sup>2</sup> ]
$r$	Radius des Rotors	[m]
$c_w$	Strömungswiderstandskoeffizient	[ ]
$\mu$	Reibungskoeffizient	[ ]

Ebenso, wie im vorhergehenden Punkt 8.4.1. „Luft- und Reibungswiderstand des horizontalen Rotors“ ausgeführt, muss dieses Reibungsungleichgewicht durch Balancemassen ausgeglichen werden.

Für die eindimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung kann der, in diesem Unterpunkt (8.4.2. „Drehmoment des aktivierten horizontalen Motors“), beschriebene Effekt vernachlässigt werden, da die Reibungsveränderung über die gesamte vordere Kante wirkt und sich dadurch nicht bewegungsstörend auswirkt. Aus diesem Grund ist in Abbildung 41 keine zusätzliche Balancemasse ersichtlich. In der zweidimensionalen Bewegung sind beide Reibungseffekte ausschlaggebend, da zum einen eine seitliche Anfangsbewegung (Reibungen auf den kurzen Kanten müssen gleich sein) und zum anderen eine Bewegung in Längsrichtung mit konstanter Zusatzgeschwindigkeit (Reibungen auf den langen Kanten müssen gleich sein) durchgeführt wird (rotes Klebeband in der Abbildung 39).

Die Position hinten-rechts (Abbildung 7) für die Balancemassen ergibt sich aus der Zusammenführung der Erkenntnisse der beiden Punkte 8.4.1. „Luft- und Reibungswiderstand des horizontalen Rotors“ und 8.4.2. „Drehmoment des aktivierten horizontalen Motors“.

## **9. Grenzen und erwünschte Verbesserungen des Luftkissengleiters**

### **9.1. Beschränkung auf Samsung-Akkus**

Der Luftkissengleiter kann nur mit Akkus vom Elektronikhersteller Samsung verwendet werden. Der Grund dafür sind die Abmessungen der Akkukontakte. Die Akkus für die Verwendung mit dem Luftkissengleiter der Marke Samsung wurde aufgrund ihrer Popularität im deutschen Sprachraum (Statista, 2015) und der einfachen Austauschbarkeit der Akkus gewählt. Die Akkus sind, für gewöhnlich, nach dem einfachen Abnehmen des Handycovers zugänglich und können ohne zusätzlichem Werkzeug entnommen werden.

### **9.2. Keine variable Massenadaption des Luftkissengleiters**

Eine variable Veränderung der Masse des Luftkissengleiters könnte nur über eine Platzierung in über dem Schwerpunkt des Luftkissengleiters erfolgen um die Balance des Gleiters nicht zu beeinflussen. In der aktuellen Version (Version 7.3) ist, auf Grund fehlender Konstruktionsmaßnahmen, eine solche Massenadaption nicht möglich.

### **9.3. Zu geringe Reibungsverminderung**

Das durch den abtreibenden Luftstrom erzeugte Luftkissen sorgt, bei zusätzlich aufgebracht Zuladungen, für eine zu geringe Reibungsverminderung. Als zusätzliche Ladungen kommen Messgeräte wie GPS-Sensoren, Miniaturkameras, Beschleunigungssensoren oder Smartphones in Frage. In der aktuellen Version (Version 7.3) sind, wie oben beschrieben, Zuladungen nicht möglich. Ein weiteres Problem, welches mit Zuladungen auftritt, ist jenes der Massenverteilung (5.2. „Physik eines Luftkissengleiters“ und 8.1. „Voraussetzungen für den Betrieb“).

### **9.4. Zusatzgeschwindigkeit nicht variabel**

Durch die, von den Smartphone-Akkus, vorgegebenen Spannung (3,7 V) ergibt sich bei einer einfachen Schaltung (Abbildung 20) eine fest vorgegebene Drehzahl. Die Zusatzgeschwindigkeit des Luftkissengleiters ist aus diesem Grund fixiert und kann nicht variiert werden. Eine Verbesserung diesbezüglich kann durch ein seriell eingebrachtes Potenziometer erreicht werden. Durch die Veränderung der elektrischen Widerstandes durch das Potenziometer kann so der effektive Spannungsabfall am Motor geregelt werden.

## **9.5. Limitationen des Zeitschalters**

Die ursprüngliche Idee komplexer Anwendungen (variabler Ein- oder Ausschaltzeitpunkt des horizontalen Antriebes) kann durch die Limitationen des Luftkissengleiters nicht zufriedenstellend ausgeführt werden.

Nachfolgend in den Punkten 9.5.1 und 9.5.2 sind zwei Experimente dargestellt, welche angedacht gewesen wären, aber auf Grund der Konstruktion des Luftkissengleiters nicht möglich sind. Das Hauptproblem liegt in der Ausbalancierung des Gleiters mit Hilfe der Balancemassen.

Wie in den Punkten 8.2 und 8.3 ausgeführt, sind für eindimensionale sowie für die zweidimensionale Bewegung unterschiedliche Balancemassenanordnungen zu wählen.

### **9.5.1. Zeitversetzte Aktivierung des horizontalen Antriebes**

In Abbildung 46 ist eine schematische Darstellung der angestrebten Bewegung mit zeitversetzter Aktivierung des horizontalen Antriebes zu sehen.

Dieser Versuch (Abbildung 46) startet mit einer konstanten Geschwindigkeit in negativer x-Richtung und ohne einer Bewegungskomponente in y-Richtung. Der horizontale Motor ist deaktiviert.

Bis zu dem Zeitpunkt der Aktivierung des horizontalen Antriebes, ist eine Bewegung in x-Richtung mit konstanter Geschwindigkeit zu sehen. Ab der Aktivierung des horizontalen Motors in y-Richtung, addiert sich eine Bewegung mit konstanter Zusatzgeschwindigkeit zur gleichförmigen Bewegung in x-Richtung und ergibt sich zu einer resultierenden Bewegung.

Bis zum Zeitpunkt der *Aktivierung des horizontalen Antriebes* (Abbildung 46) darf keine Balancemasse am Luftkissengleiter befestigt sein, um ein seitliches Gleiten ohne zusätzlicher Drehung zu ermöglichen. Mit der Aktivierung des horizontalen Motors müssten allerdings Balancemassen die zweidimensionale Bewegung ermöglichen (8.2. „Zweidimensionale, gleichförmig beschleunigte Bewegung“).

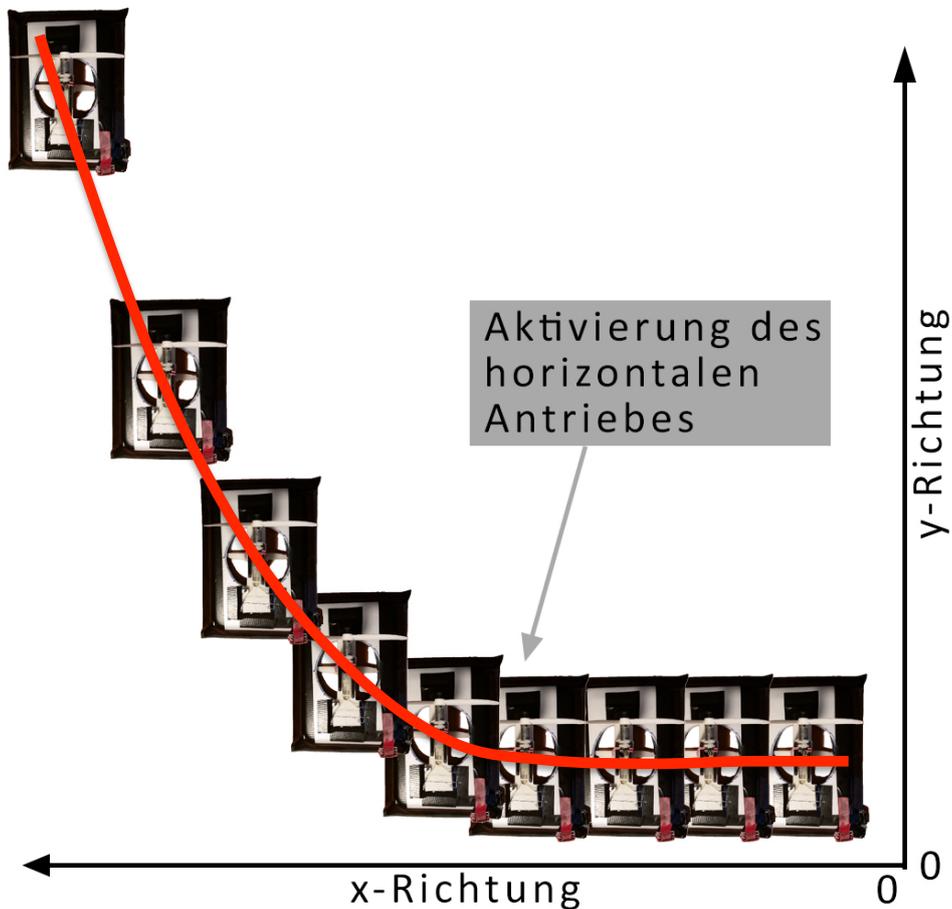


Abbildung 46: Zeitversetzte Aktivierung des horizontalen Antriebes.

### 9.5.2. Zeitversetzte Deaktivierung des horizontalen Antriebes

In Abbildung 47 ist eine schematische Darstellung der angestrebten Bewegung, mit zeitversetzter Deaktivierung des horizontalen Antriebes zu sehen.

Dieser Versuch startet mit einer konstanten Geschwindigkeit in negativer x-Richtung und einer Bewegung mit konstanter Zusatzgeschwindigkeit in positiver y-Richtung.

Bis zum zeitlichen Punkt der *Deaktivierung des horizontalen Antriebes* (Abbildung 47), ist eine Bewegung mit einer konstanten Beschleunigung in y-Richtung zu sehen. Ab der *Deaktivierung des horizontalen Antriebes* bleibt die resultierende Geschwindigkeit erhalten. Die resultierende, konstante Geschwindigkeit ergibt sich aus der konstanten Geschwindigkeit in x- und der, bis zu diesem Punkt aufgebauten, Geschwindigkeit in y-Richtung.

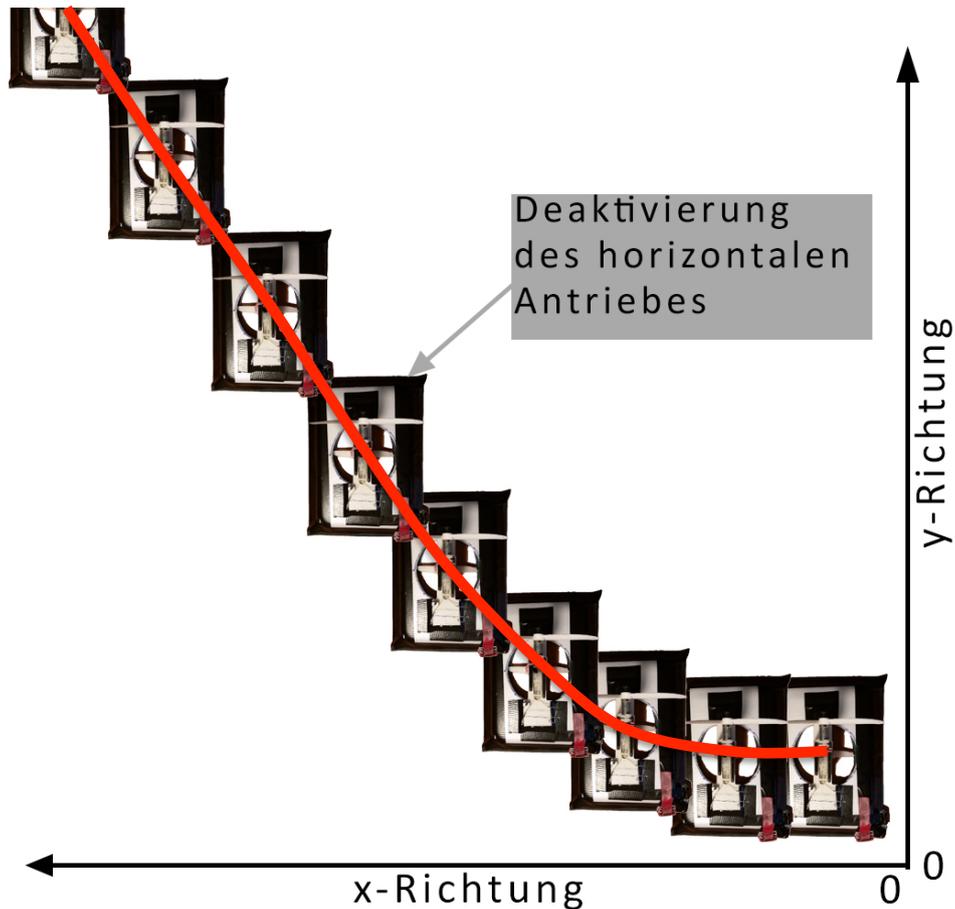


Abbildung 47: Zeitversetzte Deaktivierung des horizontalen Antriebes.

Um diesen Versuch durchführen zu können, müsste sich die Balancemasse zum zeitlichen Punkt der Deaktivierung des horizontalen Antriebes ändern. Es müsste die vom Start an benötigte Balancemasse bei der Deaktivierung entfernt werden, um die nachfolgende gleichförmige Bewegung zu ermöglichen.

Die beiden, in den Punkten 9.5.1 und 9.5.2 beschriebenen, Versuche können mit der aktuellen Version 7.3 nicht durchgeführt werden. Allerdings würden genau diese Versuche einen wertvollen Beitrag zum Münchner Mechanikkurs leisten.

Bei einer eventuellen Fortführung dieses Projekts würde sich eine Erweiterung des Luftkissengleiters hinsichtlich der Realisierbarkeit dieser beiden Versuche lohnen.



## Teil II

### Empirische Datenerhebung

Teil 2 befasst sich mit den zentralen Forschungsfragen und der Forschungsmethode, mit welcher die Forschungsfragen beantwortet werden.

#### **10. Ziele und Forschungsfrage**

Neben der Entwicklung eines Luftkissengleiters, liegt das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf zwei weiteren Teilzielen.

Zum einen sollen mögliche Einsatzmöglichkeiten des Luftkissengleiters im Unterricht mit dem Münchner Kurs erhoben werden:

##### *Forschungsfrage 1:*

Welche Einsatzmöglichkeiten sehen Lehrerinnen und Lehrer für einen Luftkissengleiter im Rahmen des Münchner Kurses?

Zum anderen soll diese Arbeit als Grundlage für weitere wissenschaftliche Arbeiten, bezüglich der Weiterentwicklung des Luftkissengleiters, hin zu einem ausgereiften Unterrichtsmaterial, dienen. Anstöße für Verbesserungen des Luftkissengleiters, werden mit der zweiten Forschungsfrage behandelt:

##### *Forschungsfrage 2:*

Welche Schwierigkeiten sehen Lehrerinnen und Lehrer bezüglich des Luftkissengleiters im Rahmen des Münchner Kurses?

# **11. Methode**

## **11.1. Methodenauswahl**

Zur Erhebung der Informationen bieten sich zwei Methoden an, welche nachstehend verglichen und bewertet werden. Grundlage dieser Gegenüberstellung bildet das Werk *Research Methods in Education* (Cohen, Manion, & Morrison, 2007, S. 352).

### **11.1.1. Fragebogen**

Fragebögen eignen sich für eine große Stichprobe. Es können viele Daten in einer relativ kurzen Zeit gesammelt werden. Zusätzlich sind Fragebögen zu favorisieren, wenn viele verschiedene Themen abgefragt werden sollen.

Eine Schwierigkeit bei der Verwendung von Fragebögen ist die zeitaufwändige Erstellung des Fragebogens, da dieser validiert werden muss, um sicherstellen zu können, dass tatsächlich die gewünschten Informationen abgefragt werden. Dennoch könnten befragte Personen Fragen oder Begriffe falsch verstehen und deshalb Fragen unzufriedenstellend beantworten. Bei Datenerhebungen mittels Fragebögen kann zwischen offenen, geschlossenen und gemischten Antwortformaten gewählt werden. Geschlossene Antwortformate zwingen Probandinnen und Probanden sich für eine, oder mehrere Möglichkeiten zu entscheiden (Ja / Nein, Skala). Offene Fragen ermöglichen mehr Freiheit bei der Beantwortung der Fragen, Nachfragen oder ein Vertiefen des aktuellen Themas sind aber auch hier nicht möglich.

### **11.1.2. Interview**

Interviews bieten im Vergleich zu Fragebögen eine eingehendere und gründlichere Methode zur Datengewinnung. Das Nachfragen bei spezifischen Stellen während des Interviews ist möglich und der Interviewer / die Interviewerin kann so unpräzise beantwortete Punkte aufgreifen und nachforschen. Darüber hinaus können Probandinnen und Probanden ihre eigene Erfahrung einfließen lassen und das Interview über die angedachten Grenzen hinaus erweitern.

Eine Schwierigkeit bei der Verwendung von Interviews zur Datengewinnung, ist die zeitaufwändige Vor- und Nachbereitung. Aus diesem Grund eignen sich Interviews vor allem für kleinere Stichproben. Börrnert (2006, S. 58) unterscheidet drei Typen von Interviews: Unstrukturierte-, teilstrukturierte- und hochstrukturierte Interviews. Eine Auflistung der Unterschiede ist in Tabelle 2 zu finden.

**Tabelle 2: Einteilung von Interviews bezüglich ihres Strukturierungsgrades (Börrnert, 2006, S. 58).**

Merkmal	Unstrukturiertes Interview	Teilstrukturiertes Interview	Hochstrukturiertes Interview
Standardisierung	gering	mittel	hoch
Handlungsspielraum des Interviewers	sehr groß	mittelgroß	gering
Entfaltungsspielraum des Befragten	sehr groß	groß	gering
Interview-Leitfaden	nicht vorhanden	Leitfragen mit Primär- und Sekundärfragen	vollständige Fragenliste
Art der Fragen	offen	offen	geschlossen
Flexibilität / Rigidität	sehr flexibel	mäßig flexibel	sehr rigide
Angezielte Merkmale	breit, unspezifisch	variabel	eng, spezifisch
Ergebnisse	qualitative Aussage	qualitative Aussage oder numerische Daten	Klassifikation

## 11.2. Interview als gewählte Methode

Um die Forschungsfragen hinreichend beantworten zu können, sollen nachstehende Themen behandelt werden:

- Unterrichtserfahrung der Lehrerinnen und Lehrer
- Einsatzgebiete des Luftkissengleiters im Münchner Kurs
- Voraussichtliche Lernchancen von Schülerinnen und Schülern im Zuge des Münchner Kurses
- Voraussichtliche Schwierigkeiten bezüglich des Luftkissengleiters im Unterricht

Um den Lehrpersonen das Einbringen von eigenen Erfahrungen zu ermöglichen und gleichzeitig das Interview auf die Kernthemen (oben) zu fokussieren, bot sich ein teilstrukturiertes Interview mit einem Interviewleitfaden an. Der Interviewleitfaden stellte sicher, dass alle Themen behandelt und alle Fragen beantwortet wurden.

Um eine Beantwortung der vorangehend dargestellten Fragen in bestmöglicher Form sicherstellen zu können, wurden folgende Anforderungen an die Interviewmethode gestellt:

- Primärfragen als Eckpfeiler des Interviews
  - Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Interviews zu gewährleisten, sind idente Fragen wesentlich.

- Keine zu starke Einschränkung auf eine vorgegebene Fragestellung, um den Interviewten die Möglichkeit zu geben, ihre / seine eigenen Perspektiven und Erfahrungen mit dem jeweiligen Thema zu formulieren.

Primärfragen wurden durch Sekundärfragen ergänzt. Dieser so entstandene Interviewleitfaden bildete, in Anlehnung an Bohnsack, Marotzki und Meuser (2011, S. 114) die Basis der Befragung:

*„Ein Leitfaden besteht aus Fragen, die einerseits sicherstellen, dass bestimmte Themenbereiche angesprochen werden, die andererseits aber so offen formuliert sind, dass narrative Potenziale des Informanten dadurch genutzt werden können.“*

Eine Besonderheit des teilstrukturierten Interviews ist, dass die Reihenfolge der Fragen offen bleibt. Die Aufnahme von, während des Gesprächs, aufkommenden Themen ist möglich und erwünscht. So können Lehrpersonen individuelle Gedanken und Ideen in das Interview einbringen und so neue inhaltliche Ebenen erschließen. (Bohnsack u. a., 2011, S. 114)

## 12. Interview

Das Interview gliederte sich in zwei Phasen (Induktionsphase und Interviewphase). Nachfolgend werden beide Phasen erklärt und die zentralen Punkte dieser Phasen vorgestellt.

### 12.1. Induktionsphase

In der Induktionsphase des leitfadengesteuerten Interviews wurde der Luftkissengleiter vom Interviewer vorgestellt und die Funktionen desselben wurden erklärt.

Folgende Punkte und die zugehörigen Unterpunkte wurden behandelt:

*Allgemeine Funktionsweise von Luftkissengleitern:*

- Das Prinzip der Reibungsreduktion durch ein Luftkissen.

*Auf den Luftkissengleiter bezogene Erklärungen:*

- Zwei Propeller (Luftschauben)
  - horizontal & vertikal
- Zwei Gleichstrommotoren (3V)
  - horizontal & vertikal
- Alte Akkus von Handys (Samsung) 3,7 V Nennspannung
  - Stecksystem für Akkus
- Kippschalter zur Aktivierung des vertikalen Motors
- Zeitschalter zur Aktivierung des horizontalen Motors
  - Schaumstoff-Ohrstöpsel und gebogene Büroklammern
- Müllsack für die Abdichtung
  - Ausbildung des Luftposters unterhalb des Luftkissengleiters
- 3D-Druck
  - Aufbau sowie Propeller werden mit einem 3D Drucker gefertigt.
- Hinweis auf die kostengünstige Herstellung.
- Hinweis auf die zweidimensionale Einsatzmöglichkeit.

Lehrpersonen machen sich mit dem Modell vertraut.

- Beantwortung von Fragen bezüglich des Luftkissengleiters

## 12.2. Interviewphase

In der Interviewphase des leitfadengesteuerten Interviews wurden folgende Fragen behandelt. Es wurde darauf geachtet, dass die interviewten Lehrpersonen ihre eigenen Erfahrungen miteinfließen lassen konnten.

- Wie viele Unterrichtsjahre unterrichten Sie bereits Mechanik im Physikunterricht?
- Wie viele Jahre davon haben Sie den Münchner Kurs verwendet?
- Inwiefern eignet sich der Luftkissengleiter für den Unterricht mit dem Münchner Kurs?
- An welcher Stelle (des Münchner Kurses) würden Sie den Luftkissengleiter thematisch einordnen?
  - Als Orientierungshilfe für die Lehrpersonen wird ein Schülerheft (Hopf u. a., 2011) zur Verfügung gestellt.
- Können Ihre Schülerinnen und Schüler an diesem Luftkissengleiter Mechanik lernen?
  - Ja: Was genau kann mit diesem Luftkissengleiter unterrichtet werden?
  - Nein: Wo sehen Sie Lernschwierigkeiten bezüglich Mechanik?
- Ist der Luftkissengleiter eher für die Unterstufe oder eher für die Oberstufe geeignet?
- Welche Schwierigkeiten sehen Sie beim Einsatz des Luftkissengleiter im Unterricht?
- Können Sie sich vorstellen den Luftkissengleiter für Ihren Mechanikunterricht zu verwenden?
- In Wien gibt es bereits mehrere Druckshops für 3D-Druck.  
Die 3D-Druckdateien stehen online auf der Homepage des AECC Physik<sup>7</sup> zum Download zur Verfügung. Würden Sie den Luftkissengleiter selbst drucken wollen (Druckshop oder Schulstandort), oder würden Sie einen fertigen Bausatz bevorzugen?

---

<sup>7</sup> [http://aeccp.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/kompetenzzentrum\\_aeccp/Materialien\\_Physik\\_Verstaendlich/Mechanik/Hover\\_Puck.zip](http://aeccp.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/kompetenzzentrum_aeccp/Materialien_Physik_Verstaendlich/Mechanik/Hover_Puck.zip)

### **12.3. Testung des Interviewleitfadens**

Um zu überprüfen ob der Interviewleitfaden zielführend gestaltet wurde, wurde ein Probeinterview durchgeführt. Das Ziel war, sicherzustellen, dass die Befragten beim Interview unter Verwendung des Interviewleitfadens, tatsächlich auch auf die gestellten Fragen antworteten.

Das Probeinterview wurde mit einem Tutor der Lehrveranstaltung *Praktikum für Schulversuche* im November 2016 durchgeführt. Der Tutor unterstützte, im Rahmen dieser Lehrveranstaltung, Studierende bei der Erarbeitung von Experimenten und sammelte dort Erfahrung mit dem Münchner Kurs. Aufgrund der dort gesammelten Erfahrung bezüglich des Münchner Kurses qualifizierte sich der Tutor als Proband für das Probeinterview.

Das Probeinterview zeigte, dass der Interviewleitfaden gut für die angedachten, im Punkt 12.2. „Interviewphase“ angeführten, Fragen eignete. Das gewählte teilstrukturierte Interviewformat stellte sich auch als gut geeignet heraus. Der Tutor konnte im Interview selbst eigene Erfahrungen bezüglich des Münchner Kurses einbringen. Auch die Induktionsphase (Punkt 12.1), in welcher der Luftkissengleiter vorgestellt und erklärt wurde, zeigte sich als zielführend. Nach Angaben des Tutors fühlte er sich nach der Induktionsphase mit dem Luftkissengleiter vertraut und hatte diesbezüglich keine Fragen mehr.

Aus den oben genannten Gründen wurden die Induktions- sowie die Interviewphase in der aktuellen Form als gut geeignet angesehen, und wurde deswegen unverändert für die Interviews mit den Lehrpersonen verwendet.

### **12.4. Teilnehmerinnen und Teilnehmer am Interview**

Es wurden fünf Lehrerinnen und Lehrer interviewt, welche an Wiener und Niederösterreichischen Gymnasien als Physiklehrkräfte tätig sind. Voraussetzung für die Auswahl der Lehrenden war Erfahrung mit dem Münchner Kurs im Physikunterricht. Dabei konnte der Grad der Erfahrung nicht als Auswahlkriterium herangezogen werden, da in Wien und Umgebung nur wenige Lehrpersonen verfügbar sind, welche über eine erhebliche Erfahrung mit dem Münchner Kurs verfügen. Drei der fünf interviewten Lehrpersonen können erst ein oder zwei Schuljahre Unterrichtserfahrung mit dem Münchner Kurs vorweisen. Die verbleibenden zwei interviewten Lehrpersonen

unterrichteten bereits drei beziehungsweise vier Schuljahre Mechanik im Physikunterricht nach dem Münchner Kurs.

Die nachfolgende Tabelle 3 fasst die Erfahrung der Lehrpersonen mit Mechanik im Physikunterricht und dem Münchner Kurs zusammen. Die Spaltenbezeichnung „I“ steht für Interview (I1 = Interview 1, I2 = Interview 2, ect.).

**Tabelle 3: Erfahrung der Interviewten Lehrpersonen mit Mechanik im Physikunterricht in Schuljahren.**

	I1	I2	I3	I4	I5
Erfahrung in Schuljahren mit Mechanik im Physikunterricht	2	3	2	8	2
... davon Erfahrung mit dem Münchner Kurs	2	3	1	4	1

## **13. Ergebnisse des Interviews**

### **13.1. Eignung für den Münchner Kurs**

Alle fünf interviewten Lehrpersonen sehen den Luftkissengleiter für den Unterricht mit dem Münchner Kurs als sehr gut geeignet. Die Interviewten nennen die zweidimensionale Funktionsweise (Transkript I1, Zeilen 12-14; Transkript I2, Zeilen 37-38), sowie die einfache Bauweise und die geringen Beschaffungskosten des Luftkissengleiters (Transkript I1, Zeilen 219-221; Transkript I2, Zeilen 117-120; Transkript I3, Zeilen 174-177 & 256-258; Transkript I4, Zeilen 136-137 & 146-147; Transkript I5, Zeilen 185-186) als wesentliche Punkte für die Eignung als Unterrichtsmaterial für den Münchner Kurs. Darüber hinaus bewerten sie die Erweiterung des Münchner Kurses mit physisch hantierbarem Unterrichtsmaterial als sinnvoll (Transkript I1, Zeilen 142-143; Transkript I2, Zeilen 142-143).

### **13.2. Einordnung im Münchner Kurs**

Die interviewten Lehrpersonen sehen unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten des Luftkissengleiters im Rahmen des Münchner Kurses. Während drei der fünf interviewten Lehrpersonen einen durchgängigen Einsatz im Münchner Kurs sehen (Transkript I2, Zeilen 27-40; Transkript I4, Zeilen 43-45; Transkript I5, Zeilen 68-68 & 83-84), ist für die restlichen beiden Lehrpersonen ein Einsatz erst ab der Einführung der

*Richtung* (Transkript I1, Zeilen 138-139) bzw. ab der *Zusatzgeschwindigkeit* (Transkript I3, Zeilen 90-99) sinnvoll.

Laut den interviewten Lehrpersonen, eignet sich der Luftkissengleiter speziell für das Kapitel 4. Die *Zusatzgeschwindigkeit* im Begleitheft zum Münchner Kurs (Hopf u. a., 2011, S. 10) besonders gut (Transkript I1, Zeilen 44-46 & 110-114; Transkript I2, Zeilen 27-40, 45-46 & 67-70; Transkript I3, Zeilen 90-99; Transkript I4, Zeilen 32-38; Transkript I5, Zeilen 68-77). Bezüglich der Konstruktion der Zusatzgeschwindigkeit, mit Hilfe von Geschwindigkeitsvektoren, hielten vier der fünf interviewten Lehrpersonen einen Einsatz des Luftkissengleiters für sinnvoll (Transkript I1, Zeilen 110-112; Transkript I2, Zeilen 67-70; Transkript I3, Zeilen 149-155; Transkript I5, Zeilen 71-72). Eine Lehrperson merkte als Kritikpunkt an, dass sich die Erstellung der Stroboskopaufnahmen mit Schülerinnen und Schülern als schwierig und zeitaufwändig herausstellen wird. Die Daten müssten, für einen gewinnbringenden Unterricht, laut dieser Lehrperson, im Vorfeld aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden, um nicht zu viel Zeit mit „Organisatorischem“ (Unterricht in den Informatikraum verlegen, Daten übertragen, ...) zu verlieren (Transkript I3, Zeilen 100-113).

Die Newtonsche Bewegungsgleichung kann hingegen, laut den interviewten Lehrerinnen und Lehrern, mit Hilfe des Luftkissengleiters nur mit Einschränkungen unterrichtet werden. Die Lehrpersonen nennen diesbezüglich die nicht veränderliche Masse des Luftkissengleiters als Schwierigkeit (Transkript I2, Zeilen 81-83; Transkript I3, Zeilen 119-128 & 197-199).

### **13.3. Unterstufe oder Oberstufe**

Die interviewten Lehrpersonen erachten den Luftkissengleiter grundsätzlich, sowohl für die Unter-, als auch für die Oberstufe für geeignet (Transkript I1, Zeilen 150-157; Transkript I2, Zeilen 99-103; Transkript I4, Zeilen 88-91; Transkript I5, Zeilen 61-63). Bezüglich der Einsatzmöglichkeiten gibt es, von Seiten der interviewten Lehrpersonen, unterschiedliche Meinungen. Zwei Lehrpersonen würden den Luftkissengleiters in der Unterstufe als reines Demonstrationsexperiment und in der Oberstufe als Unterstützung verwenden, mit welcher die Konstruktion der Geschwindigkeitspfeile in Kleingruppen erarbeitet werden kann (Transkript I1, Zeilen 42-49 & 67-71; Transkript I5, Zeilen 61-63 & 76-78). Zwei andere Lehrpersonen sehen allerdings bereits in der Unterstufe einen passenden Zeitpunkt für Schülerexperimente mit Hilfe des Luftkissengleiters (Transkript I2, Zeilen 61-68; Transkript I4, Zeilen 142-147).

#### **13.4. Vorteile des Luftkissengleiters**

Als einen positiven Aspekt merkten die interviewten Lehrerinnen und Lehrer die Möglichkeit des Selberbauens an (Transkript I5, Zeilen 49-56). Drei der interviewten Lehrerinnen und Lehrer sehen auch Potenzial für einen fächerübergreifenden Unterricht mit Werken, oder eines Laborprojekts im Rahmen eines Wahlmodules (Transkript I1, Zeilen 86-89 & 203-208; Transkript I2, Zeilen 99-103; Transkript I5, Zeilen 37-41).

#### **13.5. Schwierigkeiten beim Einsatz**

Neben den genannten Vorteilen und Einsatzmöglichkeiten des Luftkissengleiters hinsichtlich Lernen, merkten die interviewten Lehrpersonen auch Schwierigkeiten an. Beispielsweise werden am Aufbau des Luftkissengleiters im Speziellen die Fragilität desselben (Transkript I1, Zeilen 166-169; Transkript I2, Zeilen 141-143; Transkript I4, Zeilen 116-120; Transkript I5, Zeilen 119-122) und die Notwendigkeit der Balancemassen (Transkript I2, Zeilen 51-53; Transkript I3, Zeilen 203-208; Transkript I5, Zeilen 170-172) kritisiert.

#### **13.6. Beschaffung und Bau des Luftkissengleiters**

Alle interviewten Lehrerinnen und Lehrer bevorzugen einen fertigen Bausatz gegenüber der optionalen Variante des Selbstdruckens. Als Grund dafür wird vor allem Zeitmangel in der Unterrichtsvorbereitung genannt (Transkript I1, Zeilen 208-214; Transkript I2, Zeile 156; Transkript I3, Zeilen 245-247; Transkript I4, Zeilen 165-166; Transkript I5, Zeilen 155-157).

## Teil III

### Diskussion

In Teil 3 werden die Ergebnisse der Interviews, mit den Erkenntnissen aus dem Entwicklungsprozess des Luftkissengleiters in Verbindung gesetzt.

#### **14. Diskussion der Ergebnisse der Interviews**

Aus den Ergebnissen der Interviews (13.1. „Eignung für den Münchner Kurs“) geht eindeutig hervor, dass die interviewten Lehrerinnen und Lehrer den Luftkissengleiter für den Unterricht mit dem Münchner Kurs für sehr geeignet halten.

Darüber hinaus besitzt der Luftkissengleiter, durch die zweidimensionale Funktions- und einfache Bauweise, das Potenzial, den Münchner Kurs zu bereichern. Die Lehrerinnen und Lehrer sehen eine besondere Bereicherung des Münchner Kurses durch den Luftkissengleiter in der schülerInnenorientierten Anwendung:

*„[...]da können sie wirklich gut selber arbeiten, weil eigentlich so etwas in der Richtung fehlt, finde ich, in den Schülerversuchen (Anm.: im Münchner Kurs) auf jeden Fall.“* (Transkript I1, Zeilen 142-143)

Der eben genannte Vorteil der schülerInnenorientierten Experimente, bringt die Forderung nach einer robusten und langlebigen Bauweise des Luftkissengleiters mit sich.

*Ich glaub, dass des / dass es filigran ist. Dass es für den Unterricht ahm, für Einweg: ja, wenss länger im Physikkammerl steht, glaub ich, is relativ schnell kaputt.* (Transkript I5, Zeilen 120-122)

Die im Punkt 6.2.1. „Anforderungen“ angeführte und überspannende Vorgabe, einen massearmen und unkomplizierten Luftkissengleiter zu entwerfen, der zusätzlich aus Haushaltsgegenständen gefertigt sein soll, steht mit dem zuvor genannten Forderung nach Robustheit und Langlebigkeit teilweise in Konflikt. Die von Lehrerinnen und Lehrern kritisierte Fragilität des Luftkissengleiters (siehe 13.5. „Schwierigkeiten“) kann von Seiten der Entwicklung nur teilweise entkräftet werden. Obwohl sich die, in der Version 7 verwendete Styroportasse als äußerst stabil und langlebig herausstellt und auch die 3D-gedruckten Bauteile eine gute Beständigkeit aufweisen, so wurde zur Befestigung der Einzelteile auf der Styroportasse Klebeband verwendet. Diese Klebeverbindungen werden von den Lehrerinnen und Lehrern zurecht als fragil bezeichnet. Beim Transportieren des Luftkissengleiters, sowohl in der Entwicklungs-

als auch in der Interviewphase, lösten sich die Klebestreifen immer wieder vom 3D-gedruckten Aufbau. Diese Klebestellen mussten, aus diesem Grund, immer wieder repariert werden, sodass ein stabiler Betrieb gewährleistet werden konnte.

In Punkt 13.2. „Einordnung im Münchner Kurs“ beschreiben die Lehrerinnen und Lehrer die Einsatzfähigkeit innerhalb des Münchner Kurses. Spätestens ab der Einführung der Zusatzgeschwindigkeit sehen die interviewten Lehrpersonen eine gewinnbringende Verwendung des Luftkissengleiters für den Unterricht.

*Ähm, ich glaube, dass es, wenn man es richtig einsetzt, überall, oder fast überall einsetzbar ist. Also wirklich angefangen vom, vom Tempo mit einer Richtung dazu. Sprich man baut die Geschwindigkeit auf, kann man über die Air Pucks genauso machen. Bei der Zusatzgeschwindigkeit ist es absolut perfekt, meiner Meinung nach. (Transkript I5, Zeilen 68-72)*

Anhand einer passenden Auswertung von erstellten Stroboskopbildern, kann im Zuge des Münchner Kurses, die Konstruktion der Geschwindigkeitsvektoren anhand des Luftkissengleiters durchgeführt werden. Diesbezüglich bemerkte eine Lehrperson, dass die Auswertung, von erstellten Stroboskopaufnahmen, in Laptopklassen erheblich einfacher funktioniert als in traditionell geführten Klassen, da Daten schnell auf Computer übertragen werden können und so effektiver gearbeitet werden kann.

*Im normalen Schulalltag, sag I mal, wennst jetzt direkt dann gleich auswerten willst, gleich weitermachen willst, ist es wahrscheinlich eher schwierig umzusetzen, dass ich dann sag wir gehen wieder in den Informatikraum oder machen jetzt eine Stunde des im Informatikraum. (Transkript I3, Zeilen 110-113)*

Für Klassen, welche ohne Computerunterstützung geführt werden, sollte demnach genügend Zeit für die Datenauswertung eingeräumt, oder die Daten im Vorfeld aufbereitet werden.

Im Punkt 9. „Grenzen und erwünschte Verbesserungen des Luftkissengleiters“ wird ausgeführt, dass die Masse des Luftkissengleiters nicht verändert werden kann. Diese Einschränkung nennen die interviewten Lehrerinnen und Lehrer als einen Grund dafür, dass die Newtonsche Bewegungsgleichung mit dem Luftkissengleiter nicht vollständig abgedeckt werden kann. Eine weitere, nicht veränderbare Größe ist die Zusatzgeschwindigkeit, welche in der aktuellen Version des Luftkissengleiters (Version 7.3) nicht variiert werden kann (9.4. „Zusatzgeschwindigkeit nicht variabel“).

Die interviewten Lehrpersonen befinden den Luftkissengleiter sowohl für Unter- als auch Oberstufe (13.3. „Unterstufe oder Oberstufe) als geeignet. Dabei sehen mache der interviewten Lehrerinnen und Lehrer den Einsatz des Luftkissengleiters in der Unterstufe eher als Demonstrationsexperiment. In der Oberstufe würden alle Lehrerinnen und Lehrer schülerInnenzentrierte Versuche anhand des Luftkissengleiters durchführen. Besonders positiv bemerkten die Lehrerinnen und Lehrer die Möglichkeit des Selberbauens des Luftkissengleiters und sehen darin großteils einen Mehrwert für die Schülerinnen und Schüler in Hinblick auf das Verständnis der Mechanik:

*Interviewer: Wo du gerade angesprochen hast, denkst du, dass dieses Selberbauen für das konzeptuelle Verständnis der Mechanik förderlich ist?  
00:12:19-5*

*Respondent: Ja, absolut. Absolut. Warum? Ist ganz einfach deswegen, weil sie überlegen müssen warum verwende ich etwas, was hat des für welche Auswirkungen auf mein Experiment. Und was hat des für eine Einwirkung, beziehungsweise, was / wo steckt die Physik dahinter? Was ist für uns das Interessante? Warum bauen wir das? Ja, klar. Reibungsfreier Gleit/ ähm, reibungsfrei ähm, dass man mal das Hover Craft an sich baun. Zusätzlich die Bewegung, die man / oder den Impuls oder die, die Bewegung, die wir hinzufügen über den zweiten Propeller. Jo, definitiv. Auch die ganze Elektronik ist interessant. Wenn man dann drauf kommt. 00:13:01-1*

(Transkript I5, Zeilen 46-56)

Aus den Interviews geht eindeutig hervor, dass die Lehrerinnen und Lehrer einen fertigen 3D-gedruckten Bausatz der Variante des Selberdruckens vorziehen. Ein Hindernis hierfür könnte sein, dass nur eine der befragten Lehrpersonen einen direkten Zugang zu einem 3D-Drucker hat. Als ausschlaggebender Grund wurde von den Lehrerinnen und Lehrern allerdings der zusätzlich entstehende Zeitaufwand genannt (13.6. „Beschaffung und Bau des Luftkissengleiters“).

## 15. Folgerungen aus den Ergebnissen

In diesem Kapitel werden die Forschungsfragen auf Grundlage des Kapitels 14. „Diskussion der Ergebnisse“ beantwortet.

*Welche Einsatzmöglichkeiten sehen Lehrerinnen und Lehrer für einen Luftkissengleiter im Rahmen des Münchner Kurses?*

Lehrerinnen und Lehrer betrachten den Luftkissengleiter besonders für die Vermittlung der Zusatzgeschwindigkeit als wertvoll. Durch die zweidimensionale Funktionsweise des Luftkissengleiters, sowie die erfolgreiche Reibungsreduktion, sehen Lehrkräfte auch eine mögliche Verwendung bei der Vermittlung von Tempo, Richtung und Geschwindigkeit. Die Lehrerinnen und Lehrer sehen den Luftkissengleiter gleichermaßen für Demonstrationsexperimente, sowie für Schülerexperimente geeignet, wobei die Lehrpersonen den Luftkissengleiter als Demonstrationsexperiment eher in der Unter-, und als Schülerexperiment eher in der Oberstufe einordnen. Die Lehrerinnen und Lehrer zeigten Interesse daran, den Luftkissengleiter mit Schülerinnen und Schülern in Oberstufenklassen, fächerübergreifend mit anderen naturwissenschaftlichen Fächern, oder im Physik-Projektunterricht (bzw. Wahlfach), auf Grund seiner Einfachheit, selbst zu basteln.

*Welche Schwierigkeiten sehen Lehrerinnen und Lehrer bezüglich des Luftkissengleiters im Rahmen des Münchner Kurses?*

Die Newtonsche Bewegungsgleichung kann, mit Hilfe des Luftkissengleiters, nur mit Einschränkungen unterrichtet werden. Gründe hierfür sind, dass sowohl die Masse des Luftkissengleiters, als auch die Einwirkstärke des horizontalen Antriebes nicht variiert werden können.

Zwei weitere Schwierigkeiten ergeben sich aus der Konstruktion des Luftkissengleiters. Erstens muss der Luftkissengleiter mit Hilfe von Balancemassen ausbalanciert werden, um eine bestimmte Bewegung darstellen zu können. Zweitens merkten die Lehrerinnen und Lehrer als Schwierigkeit für den Einsatz im Unterricht an, dass der Luftkissengleiter, in der aktuellen Version, zu fragil erscheint, um länger in einer oder mehreren Klassen eingesetzt werden zu können.

## 16. Ausblick

Durch die Konstruktion des Luftkissengleiters ist es gelungen eine beschleunigte Bewegung in einer zweidimensionalen Ebene auf eine einfache Art und Weise darzustellen. Die positiven Rückmeldungen der Lehrerinnen und Lehrer zu dem Projekt generell und zu einem passenden Unterrichtsmaterial für den Münchner (Mechanik-) Kurs bestätigen die Notwendigkeit dieses Projekt fortzuführen.

Diese Arbeit soll die Grundlage für eine Weiterentwicklung des Luftkissengleiters zu einem, für den Münchner Kurs geeigneten und ausgereiften, Unterrichtsmaterial bilden. Die in den Kapiteln 14. „Diskussion der Ergebnisse“ und 15. „Folgerungen aus den Ergebnissen“ dargestellten Rückmeldungen der Lehrpersonen können dabei überdacht und in der Weiterentwicklung eingearbeitet werden. Zusätzlich sind im Punkt 9. „Grenzen und erwünschte Verbesserungen des Luftkissengleiters“ Punkte genannt, welche ebenso in einer verbesserten Version berücksichtigt werden sollen, um den Luftkissengleiter zu einem einsetzbaren Unterrichtsmaterial zu weiterzuentwickeln.

In der wünschenswerten Weiterführung des Projektes soll, eine um die in oben genannten Punkte angeführten Verbesserungen, aktualisierte Version, im Schulalltag evaluiert werden. Anregungen für die Forschung sind zum einen die Untersuchung der Akzeptanz der Schülerinnen und Schüler gegenüber Erklärungen, welche anhand des Luftkissengleiters präsentiert werden. Und zum anderen die Untersuchung der Lernwirksamkeit des Luftkissengleiters für das Teilgebiet der Mechanik im Physikunterricht.

# Anhang A

## 1 Interview 1 (I1)

2

### 3 Induktionsphase

4 Die Induktionsphase ist nur im Interview 1 (I1) angeführt.

5

6 Allgemeine Funktionsweise von Luftkissenfahrzeugen:

- 7 • Prinzip der Reibungsreduktion durch ein Luftkissen

8 Auf den Luftkissengleiter bezogene Erklärungen:

- 9 • Zwei Propeller (Luftschrauben)
  - 10 ○ horizontal & vertikal
- 11 • Zwei Gleichstrommotoren 3V
  - 12 ○ horizontal & vertikal
- 13 • Alte Akkus von Handys (Samsung) 3,7 V Nennspannung
  - 14 ○ Stecksystem für Akkus
- 15 • Kippschalter zur Aktivierung des vertikalen Motors
- 16 • Zeitschalter zur Aktivierung des horizontalen Motors
  - 17 ○ Schaumstoff-Ohrstöpsel und gebogene Büroklammern
- 18 • Müllsack für die Abdichtung
  - 19 ○ Ausbildung des Luftposters unterhalb des Luftkissengleiters
- 20 • 3D-Druck
  - 21 ○ Aufbau sowie Propeller werden mit einem 3D Drucker gefertigt.
- 22 • Hinweis auf die kostengünstige Herstellung.
- 23 • Hinweis auf die zweidimensionale Einsatzmöglichkeit.

24 Lehrpersonen machen sich mit dem Modell vertraut.

- 25 • Beantwortung von Fragen bezüglich des Luftkissengleiters

<b>16.1.1. Interviewphase</b>	26
ab 00:13:50-1	27
	28
Interviewer: Wie viele Jahren unterrichten Sie bereits Mechanik im Physikunterricht?	29
00:13:55-1	30
	31
Respondent: Zwei volle Jahre. 00:13:57-1	32
	33
Interviewer: Und wieviele Jahre davon wurde bereits der Münchner Kurs eingesetzt?	34
00:13:59-1	35
	36
Respondent: zwei Jahre. 00:14:41-3	37
	38
Interviewer: Ahm, inwiefern eignet sich dieser Luftkissengleiter für den Unterricht mit dem Mechanikkonzept der LMU München? 00:14:50-4	39
	40
	41
Respondent: Ahm, also bei der Unterstufe würde ichs wirklich als reines Demonstrationsexperiment nehmen um es / also mir würde jetzt ad hoc einfallen zum Beispiel, nachdem man diese Simulation mit dem Stoßversuch gemacht hat. Also wo sie sehen, dass der Kraftstoß eine Zusatzgeschwindigkeit mit sich bringt, ja? Da kann ich mir vorstellen, dass man es dann als Demonstrationsexperiment anschließen könnte, indem man diesen Stoß wirklich nachstellt. Also wenn man eine schöne, lineare Bewegung konstruieren kann, dann müsste ja nach dem Stoß ja auch weiter linear sich bewegen können. Stimmt das? Stimmt das nicht? 00:15:28-8	42
	43
	44
	45
	46
	47
	48
	49
	50
Interviewer: Stimmt. Ja. @ 00:15:29-5	51
	52
Respondent: Ja, also stimmts mach/ mit dem Modell. Also mit diesem, ahm, Luftkissengleiter. Ja. Dann wär das zum Beispiel ein Anwendungsbeispiel, das mir als erstes amal einfällt. Ahm, da könnte man nämlich wirklich schön die Bewegung vielleicht / ich mein die Kinder haben ja auch Smartphones, das heißt sie sollens vielleicht von oben filmen und man könnt's nachher projizieren und dann gemeinsam diskutieren. Man könnt dann,	53
	54
	55
	56
	57

58 denke ich, auch die Vektoren einzeichnen lassen. Sozusagen also dass sie wirklich  
59 versuchen die Pfeile nach zu skizzieren. Mit der Länge müsste man es wahrscheinlich als  
60 Lehrperson dann sozusagen Stopmotion und dann wirklich nachbearbeiten. Aber ich denk  
61 mir, sowohl zum Herzeigen, also auch danach dann wieder im Unterricht zum Wiederholen  
62 zum Beispiel könnte ichs mir gut vorstellen. Oder, wenn man die Simulation ghabt hat, dann  
63 als Wiederholung die Luftkissengleiter und dann kann man ja auch diskutieren was ist der  
64 Unterschied zwischen einem Modell, bei der Simulation und zwischen einem realen Modell,  
65 jetzt sozusagen. Also einem Gerät, das ich jetzt aktiv habe und verwende. 00:16:31-3

66

67 Wenn man ausreichende Objekte hätte, dann könnte ich es mir auch vorstellen in  
68 Kleingruppen, also dass sie zu viert oder so, selber vielleicht vorher die Simulation nutzen  
69 und sozusagen sollen sie real nachstellen. Oder sie sollen amal einfach den Auftrag  
70 erhalten gewisse ahm, Bewegungen zu erzeugen, mit dem Objekt und dann vielleicht mit  
71 der Simulation nachbesprechen. 00:18:00-5

72

73 Interviewer: Also was ich da jetzt raus lese, ist, dass du eigentlich denkst, dass es geeignet  
74 ist, an machen Stellen es einzusetzen. / 00:18:10-2

75

76 Respondent: Ja, genau.

77

78 *Die befragte Person führt die Umsetzung des Münchner Kurses im eigenen Physikunterricht*  
79 *aus. In der fünften Klasse wird wieder auf den Münchner Kurs zurück gegriffen, allerdings im*  
80 *Zusammenhang mit einem anderen Physikbuch, eines von ähm... Müllner. Der gemeinsame*  
81 *Nenner ist jedoch die Argumentation mit Hilfe Newtonschen Bewegungsgleichung. In der*  
82 *Oberstufe, gesteht die Lehrperson ein, fehlt ihr hier noch die Erfahrung mit dem Münchner*  
83 *Kurs. 00:19:15-5*

84

85

86 Respondent: ... wäre ich eher bei der Überlegung, weil sechste Klasse haben sie dann in  
87 Physik NWL (Naturwissenschaftliches Labor Anm.), dass man es vielleicht wirklich in der  
88 Fünften nur theoretisch anschaut und in der Sechsten haben sie als eine NWL Einheit als

Wiederholung, wo sies vielleicht selber vorher baun könnten. 00:19:30-2	89
	90
<i>Die Befragte führt nochmals die Möglichkeit aus, mit den Oberstufenschülerinnen und Schülern den Luftkissengleiter zu bauen. 00:20:06-0</i>	91
	92
	93
Interviewer: An welcher Stelle würdest du denken, dass der (Anm. Luftkissengleiter) am besten passt? Ich hab dir jetzt zur Übersicht ein Schülerheftchen vom Münchner Kurs mitgebracht. 00:20:14-2	94
	95
	96
	97
Respondent: Ja, es heißt wir können von dem jetzt schauen wos noch hineinpassen würde, weil ich hab jetzt wirklich nur das aus meiner, bis jetztigen Erfahrung, weil wir halt wirklich in der zweiten natürlich noch sehr, wie soll ich sagen, insofern rudimentär, ähm / weil wirs zum Beispiel jetzt nicht für die magnetische Kraft genutzt haben, weil wir haben nur nachher Mechanik ghabt und vorher quasi Magnetismus schon als eine Möglichkeit um Dinge zu bewegen. Also da war schon Bewegen als Konzept drinnen. Aber da haben wir uns nicht nach dem konkret gehalten. 00:20:48-2	98
	99
	100
	101
	102
	103
	104
	105
Interviewer: Ich hab nur mal das Inhaltsverzeichnis aufgeschlagen, damit du einen Überblick kriegst, wo du denkst, dass es dazupassen könnte. Jetzt können wir nochmal genauer reinschaun. 00:20:54-1	106
	107
	108
	109
Respondent: Ja, eben sicher vorne bei der Zusatzgeschwindigkeit um eben auf die Bewegungsgleichung zu kommen, also da auf jeden Fall, und natürlich da nachher, wenns um Kraftpfeile geht. Sowieso auch. Weil, wenn sie die Zusatzgeschwindigkeit schon haben, dann kann man auch mehrere Krafteinwirkungen möglicherweise / ich weiß nicht, kann man die auch als Stoßexperiment verwenden? 00:21:13-9	110
	111
	112
	113
	114
	115
Interviewer: Ja, kann man auch. 00:21:14-9	116
	117
Respondent: Ah, also quasi als Ersatz für diese Wagerl, die man hat. Diese / 00:21:20-8	118
	119

120 Interviewer: Ja, genau. Nur, dass die halt zweidimensional funktionieren. 00:21:22-4

121

122 Respondent: Genau. Die mehr Handlungsspielraum dadurch haben. Ja, und natürlich  
123 Reibungskraft, ja. Ich mein, da ist es optimal, weil da kann man drüber diskutieren welchen  
124 Effekt es hat, wenn ich die Reibung ahm, sozusagen wirklich als dominierenden Faktor hab,  
125 das heißt ohne Luftkissen und dann einmal mit Luftkissen. Da könnte man vielleicht auch,  
126 ich mein, Kraftmessen ist mit unseren Möglichkeiten ein bisschen schwierig, aber ich glaub  
127 mit Federwaage müsste es ja zum Beispiel gehn.

128

129 00:22:31-2

130 Interviewer: Wie können Ihre Schülerinnen und Schüler an diesem Luftkissengleiter  
131 Mechanik lernen? 00:22:40-8

132

133 Respondent: Ahm, was sie lernen können aus der Mechanik, ich glaub / zielt die Frage  
134 sozusagen darauf ab welchen Bereich / 00:22:48-7

135

136 Interviewer: Oder obs überhaupt mal was gibt. 00:22:49-5

137

138 Respondent: Ab der Richtung wird's mit dem Gleiter interessant. Also ich glaub eben, was  
139 man sehr gut zeigen kann ist der Einfluss einer Kraftwirkung. Eben beim Stoß, bei  
140 Bewegungsänderung. Ja? Also ich arbeite sonst immer mit Videos auf der ISS. @ Sozusagen.  
141 Und da denke ich mir, da braucht man dann die Videos nicht, oder kann mans nur als  
142 Wiederholung nehmen, da können sie wirklich gut selber arbeiten, weil eigentlich so etwas  
143 in der Richtung fehlt, finde ich, in den Schülerversuchen auf jeden Fall. 00:23:16-8

144

145 *Befragte führt das zweite Newtonsche Axiom genauer aus* 00:24:46-5

146

147 Interviewer: Wo könntest du dir vorstellen den Luftkissengleiter einzusetzen? In der  
148 Unterstufe, oder in der Oberstufe? 00:24:56-1

149

150 Respondent: Wie gesagt, in der Unterstufe als Demonstrationsexperiment. In der Oberstufe

für die Geschwindigkeitspfeile. Bei/ bei der zweiten, da wärs nur phänomenologisch. Also	151
da würde sich sie jetzt nicht irgendwie was messen lassen, sondern da gehts rein / so, also	152
wir machen das sonst immer mit der Murmel, ja, so, dass man halt anstößt und sieht was	153
passiert, wenn sie vorher in Bewegung war, was wenn sie in Ruhe war, also, dass man da	154
eher über die Krafrichtung dann geht und eben, sozusagen, wie muss ich dann die	155
Bewegung ändern, wenn der Kraftstoß von unten erfolgt, oder seitlich, schief, wie auch	156
immer, oder frontal. 00:25:13-8	157
	158
<i>Die Befragte fasst nochmal die Eignung für den Einsatz in Unter- bzw. Oberstufe zusammen.</i>	159
<i>Für den Einsatz in der Unterstufe: nur phänomenologisch. In der Oberstufe kann der Gleiter</i>	160
<i>auch selbst gebaut und die Geschwindigkeitsvektoren wiederholt werden. 00:27:11-5</i>	161
	162
Interviewer: Welche Schwierigkeiten siehst du im Einsatz von diesem Luftkissengleiter im	163
Unterricht? 00:27:19-7	164
	165
Respondent: Ja, also. Schwierigkeit ist, so wies bei mit jetzt war, man greift nur hin, weil	166
man einfach nur was ändern möchte und / also ich hab auch einfach nur hingegriffen, ohne	167
mit bewusst zu sein wo könnte ich da jetzt einen Schaden anrichten und offensichtlich	168
gleich der Rotor abgebrochen. Also das heißt es ist halt schon noch eine fragile Geschichte,	169
ja. Also das heißt, von dem her, würde ich es auch niemals den Zweitklässlern in die Hand	170
geben, weil die machen das sofort kaputt. Das ist so meine Hypothese, oder sagen wir mal	171
so, es gibt welche dies kaputt machen würden, deshalb muss mans allen nominell verbieten.	172
Und natürlich, so Sachen, wie vorher, dass der Schalter nicht funktioniert hat, das heißt,	173
man müssts halt wirklich, ahm, sozusagen, bevor mans einsetzt, einfach immer wieder	174
ausprobieren und schau, welche Möglichkeiten, Plan B hab ich, falls es nicht hinhaut. Ahm,	175
ja, ansonsten, solange man weiß, wies funktioniert, eben, dass man sieht, sonst, wenn	176
irgendwo Wackelkontakte sein könnten, ich mein, das bringt dann auch die Erfahrung, aber	177
ansonsten würde ichs jetzt nicht als schwieriger oder weniger schwierig im Einsatz	178
ansehen als die meisten anderen Geräte, oder Experimentieraufbauten, die wir sowieso	179
schon haben. Weil auch das Pendel hat seine Tücken, mitunter. @ 00:28:43-7	180
	181

182 *Die Befragte erwähnt die Möglichkeit des Selbstbauens in Oberstufenklassen. 00:29:47-8*

183

184 Interviewer: Kannst du dir jetzt vorstellen, diesen Luftkissengleiter zu verwenden?

185 00:29:52-6

186

187 Respondent: Also, wenn ich es schon hätte @ fix fertig und es jetzt nicht irgendwie  
188 zusammenbauen müsste, könnte ich es mir sogar vorstellen in der Sechsten zu verwenden.

189 Ja, weil wir haben jetzt eben über gleichförmige- ungleichförmige Bewegung gesprochen  
190 und eben der Kraftbegriff kommt ja dann auch mit der Bewegungsänderung, und nachdem  
191 ichs eh quasi mit dem Konzept der Bewegungsgleichung machen möchte, ähm, könnte ichs  
192 mir da sogar vorstellen auch schon als praktisches Beispiel einzusetzen. 00:30:23-8

193

194 *Befragte führt generelle Schwierigkeiten mit ungeeigneten Unterrichtsmaterialien aus. Im  
195 Speziellen spricht sie Materialien an, welche den zu zeigenden Effekt nicht deutlich zeigen.*

196 00:32:12-1

197

198 Interviewer: In Wien gibt es bereits mehrere Druckshops für 3D-Druck. Die 3D-  
199 Druckdateien stehen online auf der Homepage des AECC Physik zum Download zur  
200 Verfügung. Würdest du den Luftkissengleiter selbst drucken wollen, oder würdest du einen  
201 fertigen Bausatz bevorzugen? 00:32:32-1

202

203 Respondent: Also ich kann mir vorstellen, wenn man's als Projekt in NWL zum Beispiel  
204 macht, dass man durchaus sagt, okay, wir drucken uns die Sachen selber und besorgen uns  
205 die Sachen auch selber. Ähm, sozusagen, weil dann sozusagen, von nicht ganz Planung, weil  
206 die ist ja schon vorgefertigt, aber dann kann man mal überlegen was bäucht man den alles /  
207 und dann kann man sagen schauts, praktischerweise gibts schon eine Schaltung oder einen  
208 Versuchsaufbau dafür. Ansonsten denke ich mir, für den normalen Einsatz im Unterricht,  
209 wenn ich jetzt sag, ich möchts nur / entweder ein Demonstrationsexperiment oder als  
210 Schülerexperimente nutzen, dann, wenn er nicht zu teuer ist, würde, glaube ich schon sehr  
211 wohl die / ähm, also der Bausatz das Sinnvolle sein. Dann kann man eben geschickt eine  
212 Gruppe vielleicht sagen, okay, ihr bauts es bitte einmal zusammen und dann kann mans

möglicher weise, dann müsste man halt schaun wie die Platzressourcen sind, ähm, fix fertig	213
dann in den Kästen verstaun. 00:33:31-4	214
	215
<i>Die Befragte führt Schwierigkeiten bezüglich der Beschaffung über die Bundesbeschaffungsgesellschaft (BBG) aus. 00:34:26-3</i>	216
	217
	218
Respondent: Wenns, das wirklich mit dem Preis auch so billig geht und wenn man das problemlos bestellen kann, vom Budget her, dann denke ich, wäre das, glaube ich, für die meisten Schulen die angenehmere Variante. 00:34:35-1	219
	220
	221
	222
<i>Dank und Verabschiedung</i>	223

1 **Interview 2 (I2)**

2 **Induktionsphase**

3

4 Die Induktionsphase ist für alle Interviews ident (siehe 0. **Induktionsphase**)

5 **Interviewphase**

6 ab 00:14:12-2

7

8 Interviewer: Inwiefern eignet sich, so ein Luftkissengleiter für den Unterricht mit dem  
9 Münchner Mechanikkonzept? 00:14:19-6

10

11 Respondent: Naja, des san / also zweidimensional auf jeden Fall. Des san diese ganzen  
12 Simulationen, des gibt drinnen in dem Dings. Und wenn du des so her legst (Anm.  
13 Schülerheftchen) dann ist das sicher eh da drinnen. I woas jetzt owa ned genau wos is. Jo  
14 des is Bewegung... Genau. Oiso des san, diese, diese Stoßversuche. Anfangs- und  
15 Endgeschwindigkeit. Beziehungsweise, naja, i waß ned wie mans messen kann, wenn man  
16 dann mit einem / 00:14:56-9

17

18 *Es werden die Einsatzbereiche von Stroboskopaufnahmen generell und im Speziellen die*  
19 *Verwendung von MotionShop-Applikationen auf Smartphones besprochen. Die Lehrperson*  
20 *verwendet bereits einen Luftkissengleiter im Unterricht, allerdings besitzt dieser keine*  
21 *zusätzliche Beschleunigungsvorrichtung in horizontaler Richtung. 00:19:13-4*

22

23 Interviewer: An welcher Stelle im Münchner Mechanikkonzept würdest du den  
24 Luftkissengleiter thematisch einordnen? 00:19:18-9

25

26 Respondent: Zusatzgeschwindigkeit ist / des kann / woart amoi. Tempo, Richtung,  
27 Geschwindigkeit. Jo, ob dem Zeitpunkt / vielleicht könn ma des vorher auch,/ ah... Najo. im  
28 Prinzip kann man sofort beim Tempo jo auch, weil du konnst jo messen wann ist er wo und  
29 wie schnell ist er. Änderung des Weges nach der Zeit. Also kannst ihn relativ gleich vom  
30 Anfang einsetzen, weil das Tempo hast ja sofort, ist ja wurscht in welche Richtung dass das  
31 geht. Des is ja auch so wie ein Auto. Des irgendwohin foahrt. Also du kannst das ganz am

Anfang schon für irgendwas zum Messen einsetzen, vor allem, wenns mit dem Ding länger umgehen und mit dem Ding immer dasselbe machen, kennens dieses Ding schon und müssen sich nicht irgendwie drauf einstellen, wenn ich dann auf einmal mit irgendwelchen anderen Versuchen mit anderen Dingen anfang. Also im Prinzip kann ichs als Auto / also, @ als Auto, verwenden, für, am Anfang schon mal zum Tempo messen. Is ja wuarscht ob des jetzt eine Richtung hat oder ned. Owa im Prinzip hob i don diese Tempomessungen drinnen. Und don hob i halt die Geschwindigkeit dazu und die Zusatzgeschwindigkeit. Er wird schneller. 00:20:39-4	32 33 34 35 36 37 38 39
<i>Die Befragte führt nochmals die universelle Einsatzmöglichkeit in den Anfangskapiteln des Münchner Mechanikkonzept aus. 00:21:41-6</i>	40 41 42 43
Respondent: Für die Zusatzgeschwindigkeit, sobald die Zusatzgeschwindigkeit dazu kommt, kann mans sofort verwenden. 00:21:59-8	44 45 46
Interviewer: Okay. Dort siehst du die Einsatzstellen. 00:22:08-7	47 48
Respondent: Du kannst das ja dann weiterverwenden. Newtonsche Bewegungsgleichung im Prinzip. Ich meine es ist nett, weilst das durch den ganzen Lehrgang verwenden kannst. An Anfang musst / jo, weil du sagt, mit dem Ausbalancieren ist eher ein bissl das Problem. Des was i ned. 00:22:32-5	49 50 51 52 53
<i>Die Befragte führt aus, dass die Schülerinnen und Schüler Modelle gut akzeptieren, wenn man sie ihnen genau erklärt und ihre Fragen diesbezüglich beantwortet werden. 00:23:14-2</i>	54 55 56
Interviewer: Können deine Schülerinnen und Schüler an diesem Luftkissengleiter Mechanik lernen? 00:23:25-6	57 58 59
Respondent: Also überflüssig finde ich es nicht. Nein, auf keinen Fall, weil du diese Komponente dabei hast. Diese Föhnkomponente, die sie sich dann autom/ die sie sunst im, im App drinnen hom. Und die du do owa direkt physisch vor dir host. 00:24:02-1	60 61 62

63

64 Interviewer: Also, dass man die Beschleunigung auch sieht? 00:24:04-8

65

66 Respondent: Genau. Also diese ständig wirkende Zusatzgeschwindigkeit, wies do hoast.  
67 Oder die ständig dazukommende Zusatzgeschwindigkeit. Siehst ja do. Können sies/ nur mit  
68 dem würd ich ned mochn, weil diese Modellvorstellungen von de/ von den Pfeile und  
69 sonstiges i man, des is jo a Übertrogung von dem Ganzen. Diese Simultationen und so  
70 irgendwas. Warum macht der jetzt, was waß i, diese Kurve, oder so irgendwie. Also nur mit  
71 dem ned, owa als zusätzliches Ding... Sicher, weil sonst homs halt nur immer diese  
72 Simulation vor sich und nur mit meinem Fußball funktioniert des a ned, weil genau dieser,  
73 dieser Dings (Anm. horizontaler Antrieb) fehlt. 00:24:46-3

74

75 *Die Befragte führt Anwendungen mit einer zusätzlichen Einwirkung durch einen Föhn aus,*  
76 *welche die Einsatzmöglichkeiten des Luftkissengleiters noch weiter erhöhen würden. Partielle*  
77 *Einwirkungen könnten mit einem Strohhalm oder mit einem Röhrchen durchgeführt werden.*  
78 *00:26:05-6*

79

80 Respondent: Wenn ich da jetzt eine Masse drauflege, dann hob ichs wieder umge/ dann ist  
81 das alles wieder schwierig, gell? Weil da mit Masse und Zusatzgeschwindigkeit / weil wenn  
82 des ein bissl mehr wird, dann gleitet es nicht mehr. 00:26:18-5

83

84 Interviewer: Ja, also man kann ein bisschen Masse drauflegen, des würde der Motor  
85 schaffen, was aber ein Problem ist, ist das Austarieren. 00:26:25-1

86

87 Respondent: Wieder mal. 00:26:25-8

88

89 Interviewer: Genau. Das ist ein / das zieht sich so durch, das mit den / mit den  
90 Counterweights. Des ist eine Baustelle. 00:26:34-2

91 00:26:36-9

92

93 *Gespräch über mögliche Beschwerungspositionen am Luftkissengleiter. 00:27:28-2*

Interviewer: Okay, ahm, Unterstufe, oder Oberstufe? Wofür ist dieser Luftkissengleiter eher geeignet? 00:27:33-9	94 95 96
Respondent: Also bauen, bauen können sie / naja, owa des wahrscheinlich eher das Labor eher wo sies baun. Bauen würde ichs ihnen erst in der Oberstufe lassen, wenn sies bauen sollen. Wenns nur ums Bauen von diesem Ding geht unter anderem. Unterstufe, Oberstufe? Ich finde das ist in beiden Stufen anwendbar. Bauen würde ichs in der Unterstufe nicht lassen. 00:28:07-1	97 98 99 100 101 102
<i>Befragte führt die Möglichkeit des Bauens in der Ober- und Unterstufe aus. 00:28:31-6</i>	103 104
Respondent: Also wenns nur für die Mechanik sein soll, dann kannst das in der Oberstufe und Unterstufe einsetzen. 00:28:39-8	105 106 107
Interviewer: Für beides geeignet? 00:28:40-5	108 109
Respondent: Ja.	110 111
Interviewer: Gut. Hm... Welche Schwierigkeiten siehst du im Einsatz, abseits von der Ausbalancierung, des hom ma schon gsagt. 00:28:52-3	112 113 114
Respondent: (denkt nach) Es ist billig, man kanns relativ schnell herstellen, wenn diese Zusatzmassen, jo, des is halt diese Blackbox, mein Gott. Und sonst ist halt / weiß ich nicht, ist ned so schlimm. Funktioniert auf jedem Boden. Man muss halt drauf aufpassen welche Boden man hat. Owa des san alles diese / owa da kann der Gleiter nichts dafür. 00:29:52-5	115 116 117 118 119
Interviewer: Jo. Er soll halt ned sehr schmutzig sein, der Boden. 00:29:56-2	120 121
Respondent: Jo, jo. Is eh klar. Owa do muast / do muss ich halt aufpassen wo i hingeh damit, des ist klar. 00:30:00-3	122 123 124

125

126 *Befragte denkt noch über Einsatzschwierigkeiten nach und erwähnt äußere Einflüsse wie*  
127 *Zugluft. 00:31:15-5*

128

129 Interviewer: Okay, ja. Super, dann freue ich mich sehr. So, jetzt wirds für dich und deinen  
130 Mechanikunterricht spannend, kannst du dir jetzt vorstellen diesen Luftkissengleiter in  
131 deinem Mechanikunterricht, mit den Schülerinnen und Schülern, zu verwenden? 00:31:27-  
132 8

133

134 Befragte Jo, wenn ich ihn selber mal zusammengebaut habe. Jo. Des auf jeden Fall. Und  
135 wenn ich mich / also wenn i mi a beschäftigt hob damit. Also diese ganzen Sachen auch  
136 wirklich mal gscheit durchprobiert hob. Dann schon, auf jeden Fall. 00:31:43-5

137

138 *Gespräch über die Beschaffungsmöglichkeit von gebrauchten Samsung-Akkus.*

139

140 Befragte Oh je. Jetzt / des anz / wos mir jetzt für ein Problem eingefallen ist, ist, es ist sehr  
141 fragil. Also man muas / ma muas manche Schüler sind vielleicht nicht ganz so vorsichtig  
142 damit. 00:33:11-7

143

144 Interviewer: Also hast du das Gefühl, dass das eher fragil ist? 00:33:15-3

145

146 Respondent: Jo, i moan, für / i waß, i waß je ned. Woast eh, selbst experimentieren und  
147 keine Ahnung mit, mit dem Vorbehalt passts auf dieses Ding wirklich auf. 00:33:27-2

148

149 *Die Befragte führt Schwierigkeiten bezüglich Schülerexperimente aus. SchülerInnen sind nicht*  
150 *immer so vorsichtig, wie man sich das gerne wünschen würde. 0:36:42-0*

151

152 Interviewer: Würdest du dir lieben einen fertigen Bausatz wünschen, oder möchtest du dir  
153 diese 3D-Bauteile selbst drucken? 00:36:49-2

154

155 Befragte Naja, der Bausatz ist / ich nehms her und i / Zeitersparnis. 00:37:30-2

	156
Interviewer: Dann habe ich eigentlich nur mehr zwei Fragen, die easy sind. Also wieviele	157
Unterrichtsjahre unterrichtest du bereits Mechanik im Physikunterricht? 00:37:38-5	158
	159
Respondent: Drei. 00:37:40-7	160
	161
Interviewer: Drei Jahre. Und wieviele Jahre davon hast du das Münchner Konzept	162
verwendet? 00:37:42-7	163
	164
Respondent: Drei. 00:37:43-1	165
	166
Interviewer: Also drei Jahr, drei Jahre. Super. 00:37:47-0	167
	168
<i>Dank und Verabschiedung. 00:37:49-1</i>	169

1 **Interview 3 (I3)**  
2 **Induktionsphase**

3 Die Induktionsphase ist für alle Interviews ident (siehe 0. **Induktionsphase**)  
4

5 **Interviewphase**  
6 ab 00:14:58-0

7  
8 Interviewer: Wieviele Unterrichtsjahre unterrichtest du bereits Mechanik im  
9 Physikunterricht? 00:14:59-5

10  
11 Respondent: Zwei. 00:15:00-7

12  
13 Interviewer: Und wieviele Jahre davon hast du das Münchner Konzept verwendet?  
14 00:15:02-6

15  
16 Respondent: Ein Jahr. 00:15:06-1

17  
18 Interviewer: Gut. Okay, das war einfach. @ Jetzt wird's ernst. Inwiefern eignet sich ein  
19 Luftkissengleiter, so wie er da steht, für den Unterricht mit dem Mechaniklehrgang?  
20 00:15:20-0

21  
22 Respondent: Ahm, was ganz gut ist, denk ich mir / du hast jetzt zwar ah, die eine  
23 Möglichkeit, wo du sagst, du gibst dem eine Beschleunigung mit, selbst. Ah, woart, jetzt  
24 muas I grad überlegn. Ahm, ich muss mir noch kurz an die Beispiele erinnern. Man hat ja  
25 dieses Beispiel da mit dem Torschuss in welche Richtung muas I do // 00:15:47-7

26  
27 Interviewer: I hob dir da das (Anm. Schülerheftchen) zur Orientierung mitgebracht. Wenns  
28 das brauchst, kannst da reinschauen. 00:15:49-4

29  
30 Respondent: Wie würd sich das eignen, I würd halt sagen, was ganz nett ist, sind diese  
31 Stroboskopaufnahmen, dies du do mit dem Handy noch hernimmst. Wo du sogst, I hob jetzt

über zwei Sekunden a konstante Beschleunigung und I seh ja don natürlich, dass diese 32  
 Bilder, dieser Einzelbilder, die immer im selben Abstand gemacht werden immer weiter 33  
 auseinander gehn. Do hob I don als Zeichen, die Geschwindigkeit muss jetzt einfach immer 34  
 größer sein, von Bild, woas I ned, acht und neun, als bei Bild zwei und drei. Glaub ich is sehr 35  
 gut geeignet, dass man des mal, mit einer, mit einer Kamera auswertet. Ahm, in diesen zwei 36  
 Dimensionen gibts halt die Möglichkeit, dass I des, glaub ich, auch ausnütze, dass sich der 37  
 mit einer konstanten Geschwindigkeit weiter bewegt, das hast ja du / geht das dann nach 38  
 zwei Sekunden, oder ist das dann schwierig, dass er da die Richtung behält oder so? 39  
 00:16:44-6 40  
 41

Interviewer: Es is möglich, wenn mans gscheit einstellt. Allerdings ist es nicht unendlich 42  
 lang / irgendwann mal kriegts ein Staubpartikel oder irgendwo eine Bodenunebenheit, also 43  
 praktisch ist es schwierig umzusetzen. 00:16:57-5 44  
 45

Respondent: Okay, des heißt, das würd nicht gehn, der bewegt sich dann mit einer 46  
 konstanten Geschwindigkeit bei mir vorbei und ich geb den jetzt einen Impuls. Ich üb da 47  
 jetzt eine Kraft aus in die Richtung. Wie, ah, bewegt sich des jetzt dann. 00:17:12-0 48  
 49

Interviewer: Okay, des, des geht noch eher. Wenn man ihn als Puck verwendet, ohne den 50  
 horizontalen Antrieb. 00:17:17-1 51  
 52

Respondent: Ja. 00:17:18-0 53  
 54

Interviewer: Ja, des geht schon noch. Des funktioniert ganz gut, weil da braucht man auch 55  
 das ausbalancieren nicht mehr so. Dann funktioniert. 00:17:25-1 56  
 57

Respondent: Okay. Das heißt ich kann den anstoßen, der bewegt sich da jetzt relativ 58  
 konstant. Weil er kriegt jetzt am Anfang nur diesen einen / diese eine Kraftwirkung und 59  
 dann / jetzt keine andere Kraft, die auf ihn wirkt. Er hat die gleiche Geschwindigkeit. 60  
 00:17:38-8 61  
 62

63 Interviewer: Bis auf die Reibungskraft 00:17:39-6

64

65 Respondent: Jo, die kann man da relativ gut minimieren. Und dann hab ich da jetzt so  
66 Versuche wie auf einer Luftkissenfahrbahn. Was passiert, ich möchte da vorne gerne ins Tor  
67 schießen, was bei dem Sessel wär. Wie muss ich die Kraft ausüben, dass ich auch dort  
68 hinkomme. Des kann man da auch ganz gut ah, hernehmen. Weil da hat man ja in dem  
69 Lehrgang eben ah diese Beispiele da mit diesen Pucks. Das da (zeigt im Schülerheft auf die  
70 Torschuss-Abbildung) das Torschuss, da könnte man des a / sog I amoi, a gonz gut  
71 umsetzen. Und ansonsten, an was erinnere ich mich noch, von dem Konzept? Wofür könnte  
72 man den gut einsetzen? Ahm, ich weiß nicht wies ist, ah, kannst du den zusätzlich auch noch  
73 beschweren? Das heißt zusätzlich noch die Masse erhöhen vom Luftkissengleiter?  
74 00:18:37-2

75

76 Interviewer: Ahm, des is a gute Frage. Es geht in der Version so nicht gut, hab ich  
77 herausgefunden, weil auch diese, wenn man was zulegt (Anm. an irgend einer Stelle am  
78 Rand), dann beeinflusst man automatisch diese Balancemassen. Also in der Version ist es  
79 schwer möglich. 00:18:54-6

80

81 Respondent: Sonst hätte man eben noch diese Einwirkungsgröße, die Kraft, wenn ich jetzt  
82 sag, wie wirkt sich das auf die Kraft aus? Erhöhe ich die Masse, erhöhe ich die  
83 Einwirkungsdauer einer Kraftwirkung. Wie sich das auf die Zusatzgeschwindigkeit  
84 auswirkt. 00:19:11-6

85

86 Interviewer: An welcher Stelle würde das genau jetzt sein? Wenn wir da nochmal kurz  
87 reinschauen ins Inhaltsverzeichnis vorne? 00:19:35-7

88

89 Respondent: Die Stroboskopbilder die hast du ja relativ früh. Die hast du ja schon am  
90 Anfang. Da hast / wie schnell, wohin, Tempo, Richtung, Geschwindigkeit. Also die  
91 Stroboskopbilder, also ich glaub, da würde ich noch nicht direkt gleich am Anfang  
92 einführen. Sondern des schon so anschauen (Anm. ohne Stroboskopbilder), Aber dann,  
93 sobald ich dann diesen Gegenstand einführe mit, bei der Zusatzgeschwindigkeit, dass ich da

	94
nochmal einen Rückgriff sozusagen mach. Schauen wir uns das nochmal an aus Sicht dieser	95
Größen da und dann mach ich einfach ein Video von diesem Gleiter und sehe, okay, ich hab	96
da eine beschleunigte Bewegung, weil ja die Abstände zwischen den Bildern einfach immer	97
größer werden. Die Geschwindigkeit muss sich ändern. Ich glaub ich würd den da bei	98
der Zusatzgeschwindigkeit dann einsetzen. 00:20:31-1	99
	100
Interviewer: Ja. Da sind da so Sachen wie Konstruktion von Endgeschwindigkeit und	101
Zusatzgeschwindigkeit. Glaubst du, wär das mit den Stroboskopaufnahmen jetzt auch	102
möglich? Also wenn man sich das nochmal / ich habs eh nochmal da.... Wenn man sich das	103
nochmal ansieht. Da zum Beispiel. Da kann man auch diese Pfeile da einzeichnen. Oder	104
glaubst du, ist das eher nicht so geeignet? 00:20:53-0	105
	106
Respondent: Ja. Es ist die Frage, wenn du jetzt in der Schule arbeitest, ich hab das damals in	107
einer Laptopklasse ghabt, da ist das natürlich einfach umzusetzen. Da macht jeder sein Foto	108
oder sein Video mit dem Handy. Das ist ja heutzutage kein Problem mehr. Der spielt sich	109
das rüber auf den Laptop und geht schon los. Im normalen Schulalltag, sag I mal, wennst	110
jetzt direkt dann gleich auswerten willst, gleich weitermachen willst, ist es wahrscheinlich	111
eher schwierig umzusetzen, dass ich dann sag wir gehen wieder in den Informatikraum	112
oder machen jetzt eine Stunde des im Informatikraum. 00:21:29-9	113
	114
<i>Der Befragte führt aus, dass qualitative Auswertungen für SchülerInnen, wegen des</i>	115
<i>Aufwandes besser geeignet ist. Er wiederholt den Vorteil diesbezüglich von Informatikklassen</i>	116
<i>und fügt noch Erfahrungen aus seinem Unterrichtspraktikum an. 00:22:56-3</i>	117
	118
Interviewer: Für die Bewegungsgleichung? Ist der Luftkissengleiter dafür geeignet?	119
00:23:04-2	120
	121
Respondent: Eher schwierig, würd ich sagen, weil du ja eh schon gesagt hast, die Masse	122
kann ich jetzt nicht variieren. Das heißt diese eine Komponente fällt mal weg. Ah, sag ich	123
mal, Zeitdauer der Krafteinwirkung kann ich schon variieren. Mit dieser Option (Anm.	124
Zeitschalter), das heißt, das kann ich schon zeigen. Machts einen Unterschied ob die Kraft	125

126 jetzt nur ganz kurz wirkt, oder ob sie länger wirkt? Ahm, und sag ich mal, die, die  
127 Zusatzgeschwindigkeit ist ja schon ersichtlich. Ist die größer, weil ich jetzt eine längere  
128 Einwirkungsdauer hab / aber die Komponente der Masse fällt halt da raus jetzt. 00:23:47-6

129

130 Interviewer: Ahm, glaubst du, dass eine Schülerinnen und Schüler, wenn du verwenden  
131 würdest, an diesem Luftkissengleiter Mechanik lernen können? 00:24:01-8

132

133 Respondent: Ja. Ich mein, am Luftkissengleiter Mechanik lernen, man würde es eh so  
134 aufbauen, dass man das Konzept verwendet und den mit einfließen lässt. 00:24:12-8

135

136 Interviewer: Wärs eine wertvolle Ergänzung? 00:24:14-6

137

138 Respondent: Ja, sicher. Auf jeden Fall. 00:24:18-4

139

140 Interviewer: Okay. Und, was genau kannst du damit unterrichten? 00:24:28-6

141

142 Respondent: Die Zusatzgeschwindigkeit ist nur eingeschränkt unterrichtbar. Weil ich kann  
143 / man hat ja dann dieses Stoßprogramm. Dieses Simulationsprogramm. Da kannst halt die  
144 Masse variieren und überlegen. 00:24:41-9

145

146 Interviewer: Also wärs unter dem Strich jetzt eine sinnvolle Ergänzung oder mehr Aufwand  
147 als Nutzen? 00:24:47-8

148

149 Respondent: Ist die Frage wie wird er eingesetzt. Wenn man sagt, I bau des so ein, dass  
150 jeder Schüler sich selber so einen bastelt und dann damit arbeitet, ist natürlich ein großer  
151 Aufwand, aber man könnte schon / verknüpfe ich des mit dem Werkunterricht, dass die  
152 bauns im Werkunterricht diesen Luftkissengleiter. Können ihn dann auch im Unterricht  
153 dann selber einsetzen, dann würd ich sagen, hab ich zeitlich eigentlich keinen Aufwand,  
154 jetzt für den Physikunterricht zusätzlich, weil der Bau wird ausgelagert und ist natürlich  
155 eigentlich auch eine gschickte Sache im Werkunterricht. Dann müssen ihn halt auch die  
156 Lehrer bewerten ist das sinnvoll, dass man das macht. Aber wenn der Luftkissengleiter jetzt

gebastelt wird, ich weiß jetzt nicht, wie weit / wie lange braucht man dafür, dass man den	157
so zusammenbaut? 00:25:37-2	158
	159
Interviewer: Also ich brauche eine halbe Stunde. Wenn man eine Stunde braucht, weil man	160
nicht so geübt ist, dann ist es / also für eine Lehrperson hätte ich eine Stunde gerechnet.	161
Und vielleicht für Schüler eineinhalb Stunden. 00:25:45-1	162
	163
Respondent: Okay, ned länger? 00:25:45-7	164
	165
Interviewer: Es ist wirklich nicht viel Arbeit. Man muss nur ausschneiden, draufpicken und	166
der Rest ist schon / Also die meiste Arbeit ist das Verkabeln. Aber wenn man mit dem	167
LötKolben umgehen kann, ist das auch kein Ding. 00:25:57-3	168
	169
Respondent: Es ist ja auch gar nicht so groß. 00:25:58-6	170
	171
Interviewer: Also man braucht / es ist wirklich nicht so viel dabei. 00:26:01-4	172
	173
Respondent: I find jetzt die Kosten san extrem gering für so ein Teil, das man dann hat,	174
eigentlich. Und, ja. Du brauchst einfach einen Lehrer, der sich halt reindenkt und sich damit	175
beschäftigt. Aber, na, sonst finde ich das eigentlich ned zu aufwändig. Würd I ned sagen.	176
00:26:21-3	177
	178
Interviewer: Wo glaubst du ist der Luftkissengleiter besser geeignet? In der Oberstufe oder	179
in der Unterstufe? 00:26:35-5	180
	181
Respondent: Hm, jo. Also I würd song in der zweiten Klasse Unterstufe eher noch nicht,	182
weil da mit der Bewegungsgleichung, waß ned. Is schwierig. I hob jetzt eigentlich diese	183
Bewegungsgleichung hob I bis jetzt nur in der Oberstufe eingesetzt. Wobei es eigentlich	184
auch Sinn macht es auch für die Unterstufe genauso zu verwenden. I waß ned ob de in der	185
Unterstufe dann so zielgerichtet arbeiten würden, wenn ich sag ich hab des jetzt in einer	186
zweiten Klasse. Ah, ob die Arbeitsaufträge, wenss welche gibt, obs halt zielgerichtet	187

188 funktioniert, oder ob da jetzt eher abgedriftet wird in andere Bereiche. Also I würd eher  
189 Richtung Oberstufe gehn. 00:27:35-9

190

191 Interviewer: Welche Schwierigkeiten siehst du im Einsatz des Luftkissengleiters im  
192 Unterricht? 00:27:44-6

193

194 *Der Befragte äußert generelle Bedenken von zu technischen Unterrichtsmaterialien.*  
195 00:28:16-6

196

197 Respondent: Gut wäre es, wenn ich die Komponente der Masse da rein bringe. Dass ich die  
198 verändern kann. Ich hab einen leichten Luftkissengleiter oder ich hab einen schweren  
199 Luftkissengleiter. 00:28:34-0

200

201 *Der Befragte muss einen dringenden Anruf entgegennehmen. 00:29:58-3*

202

203 Respondent: Wenn es möglich wäre eine Masse zentral zuladen zu können, sodass die  
204 Ausbalancierung nicht beeinflusst werden würde, wäre dieses Problem gelöst. Weil das  
205 stell ich mir vielleicht als Problem vor, wie lange brauchen die Schüler, dass sie das  
206 austarieren, dass das dann eingestellt ist und dass ich nicht alle fünf Minuten wieder da  
207 herumbastel und mich auf den Versuch oder den Arbeitsauftrag, den ich halt hab,  
208 konzentriere. 00:30:21-4

209

210 *Der Befragte geht auf die Stabilität des Luftkissengleiters ein und sieht dort keine Probleme im*  
211 *Einsatz. Weiters nennt der Befragte die Eignung für Werkprojekte an Schulen. 00:32:05-4*

212

213 Respondent: Das einzige Problem, sag ich mal, ist, wie bekomme ich die Teile? Weil, was ich  
214 glaub, in der Schule, dass vielleicht viele eher davon abhält das jetzt umzusetzen, wie wird  
215 das alles zur Verfügung gestellt? Gibts eine Bauanleitung? Gibts eine Bauanleitung wo die  
216 Datei vom 3D-Drucker drinnen ist und ich brauch das nur einspielen und bekomme das  
217 ausgedruckt, oder gibts das nicht? Das ist, glaube ich, in der Schule oft das Problem, dass  
218 man sagt man hat nicht genug Zeit, dass ich mich nur in das Thema so extrem einarbeite.

Sondern man schaut halt immer wo bekommt ich die Materialien einfach und gleich in der Form wie ich sie gleich einsetzen kann? Das glaub ich, ist / wär der wichtigste Punkt, dass die Materialien leicht zugänglich sind. Und, dass ich genau weiß wo bestell ich die Motoren, wo leg ich mir diese Teile / wo krieg ich diese Akkus her? Des ist glaube ich das Problem.	219 220 221 222
00:33:03-5	223
	224
Interviewer: Die Rahmenbedingungen also? 00:33:06-2	225
	226
Respondent: Ja. Genau. 00:33:08-7	227
	228
<i>Der Befragte führt generelle Probleme mit komplizierten Bestellvorgängen für Unterrichtsmaterialien aus. 00:34:33-7</i>	229 230
	231
Interviewer: Kannst du dir vorstellen so einen Luftkissengleiter in deinem Mechanikunterricht zu verwenden? 00:34:33-6	232 233
	234
<i>Der Befragte schildert die eigenen Erfahrungen mit dem Konzept und der begrenzten Physikstundenanzahl in der Oberstufe nochmals. 00:36:08-3</i>	235 236
	237
Respondent: Speziell in der vierten Klasse kann ich mir vorstellen den Luftkissengleiter einzusetzen. 00:36:12-6	238 239
	240
Interviewer: In Wien gibt es schon mehrere Druckshops für 3D-Druck. Würdest du dir nun lieber die Bauteile (Anm.: Aufbau und beide Propeller) selbst drucken wollen, oder wäre dir ein fertig gedruckter Bausatz lieber? 00:36:26-4	241 242 243
	244
Respondent: Mit wär, aufgrund meiner Lage der Bausatz lieber. Weil, ja, in Wien hat man die Druckshops zur Verfügung. In Amstetten schauts wahrscheinlich schlecht aus. Ansonsten hätte ich in Wien, ja, es wäre auch möglich. Wenn ich sag ich möchte das umsetzen, schicke ich das nach Wien zu einem Druckshop und sag ich möchte das da und dort abholen, weil ich dann in Wien bin. Wär auch kein Problem. 00:37:35-4	245 246 247 248 249

250

251 *Der Befragte führt Nach- und Vorteile des Schulstandortes in Amstetten in Niederösterreich*  
252 *aus. 00:38:16-9*

253

254 Interviewer: Okay, abschließende Gedanken dazu? Weil wir sind am Ende. 00:38:21-8

255

256 Respondent: Ja, auf jeden Fall eine coole Idee. Und was ich vor allem super find, ist, dass er  
257 extrem günstig ist. Und das ist leider heutzutage extrem wichtig, weil man siehts, vom Bund  
258 kommt immer weniger Geld. Und man merkt es in den Kustodiaten, man muss sparen.  
259 00:38:40-9

260

261 *Der Befragte verweist auf Lehrmittelhändler und die sehr hohen Kosten der*  
262 *Unterrichtsmaterialien. 00:39:57-0*

263

264 Respondent: Wenn ich jetzt noch sage, ich habe die Komponente mit der variierbaren  
265 Masse noch drinnen, dann, äh, und vielleicht. Ja, ich weiß ned, wie man des mit dem Tarieren  
266 rausbekommt. Dann denk ich mir, wenn man des noch da noch so in diese Richtung  
267 verbessert, dass der schon für die Stunde stabil einsetzbar ist und dass das Tarieren kurz  
268 dauert, dann ist es sicher eine sinnvolle Ergänzung und vor allem, glaube ich, eine  
269 Ergänzung, die die Schüler sehr animiert, weil sie eben aktiv an der Sache dabei sind.  
270 00:40:40-3

271

272 *Dank und Verabschiedung. 00:41:07-3*

<b>Interview 4 (I4)</b>	1
<b>Induktionsphase</b>	2
	3
Die Induktionsphase ist für alle Interviews ident (siehe 0. <b>Induktionsphase</b> )	4
	5
	6
<b>Interviewphase</b>	7
ab 00:08:15-2	7
Interviewer: Wieviele Unterrichtsjahre unterrichtest du bereits Mechanik im	8
Physikunterricht? 00:08:15-2	9
	10
Respondent: Acht. 00:08:16-7	11
	12
Interviewer: Mhm. Wieviele Jahre davon hast du das Münchner Konzept verwendet?	13
00:08:20-9	14
	15
Respondent: Vier Jahre. 00:08:21-8	16
	17
Interviewer: Danke. So. Inwiefern eignet sich der Luftkissengleiter für den Einsatz mit dem	18
Münchner Mechanikkonzept? 00:08:32-8	19
	20
Respondent: Jo, I glaub des is a super Sache, dass die Schüler des selber ausprobieren	21
können. Des is ahm, sicher zu / im Vergleich zu Kugeln, die man rollen lässt, oder	22
Sonstigen, sicher nochmal a Verbesserung, dass sie des wirklich sehn und des ausprobieren	23
können. 00:08:55-2	24
	25
Der Befragte führt das Konzept der 5 E's aus und ordnet den Luftkissengleiter als sehr	26
geeignet hierbei ein. 00:09:20-9	27
	28
Interviewer: An welcher Stelle des Mechanikkonzeptes würdest du den Luftkissengleiter	29
thematisch einordnen? 00:09:36-8	30
	31

32 Respondent: Naja, ich denke da jetzt / wart kurz. Ahm, eigentlich kann man es da schon bei  
33 der Zusatzgeschwindigkeit einbauen. Also des is, glaub ich, das erste wo mans einsetzen  
34 kann. Ich glaub davon ist es / Naja, bei Zusatzgeschwindigkeit, wenn das da aktiviert wird,  
35 da haben wir das sicher dabei. Und da ist, da haben wir bis jetzt / da haben wirs eigentlich  
36 mit der Animation (Anm.: auf der DVD des Mechanikkonzeptes) und mit den Kugeln. Und da  
37 ist des sicher / mal / I glaub des is sicher noch mal a bissl deutlicher, vielleicht. Oder als  
38 zusätzliches Experiment. Sicher. Ja, denke schon. 00:10:20-4

39

40 Interviewer: Okay, die Zusatzgeschwindigkeit ist ein wesentlicher Punkt, habe ich  
41 herausgehört. 00:10:22-4

42

43 Respondent: Auf alle Fälle, ja. Ahm, Muss ein bissl denken. Aber ich glaub, es is dann im  
44 weiteren kann mans überall dazunehmen. Also Einwirkdauer wird ein bissl / des kann man  
45 ned wirklich regulieren, oder? 00:10:39-9

46

47 Interviewer: Man kann ausschalten mit dem (Anm. Zeitschalter). Also man kann's  
48 gegensätzlich verwenden. Also, wenn jetzt immer eingeschaltet ist, wie jetzt so. Und dann  
49 drückt der Schalter den Bügel weg, dann kann ichs ausschalten. Also / es ist halt limitiert zu  
50 einmal. Also man kann ned einschalten und dann wieder ausschalten. Des funktioniert ned.  
51 00:10:55-8

52

53 Respondent: Na, weil sonst kann mans für des auch verwenden, für die Einwirkdauer.  
54 00:11:00-9

55

56 Interviewer: Einwirkdauer. Ja. Okay. 00:11:03-5

57

58 Respondent: Ahm, ja. Ich glaub, man kanns auch für die Bewegungsgleichung dann  
59 verwenden, wenn man die Einwirkdauer dabei hat. Und... Ja, so schnell fällts mir nicht ein,  
60 aber wird sicher auch / für Kraft- Gegenkraft wird man sicher auch noch was finden. Ich  
61 mein allein schon mit der Reibung kann man viel machen. I waß ned, aber den unten (Anm.:  
62 vertikaler Antrieb) kann man, den braucht man, kann man auch ausschalten. Also man kann

auch da über Reibung was machen. 00:11:39-6	63
	64
<i>Der Befragte überlegt ob sich eine Federwaage dazu eignet die Antriebskraft zu messen.</i>	65
00:12:00-7	66
	67
Interviewer: So, jetzt würd mich interessieren ob deine Schülerinnen und Schüler an diesem Luftkissengleiter Mechanik lernen können. Einfach nur ob sie können. Ja oder nein.	68
	69
00:12:05-4	70
	71
Respondent: Jo, sicher. 00:12:09-5	72
	73
Interviewer: Und was genau, glaubst du, können sie lernen? 00:12:13-0	74
	75
Respondent: Ahm, ich glaub sie können mit dem einfach des selbst erfahren und selbst untersuchen. Und ah, I glaub, wenn man des entsprechend aufbereitet, wos sicher nu don zusätzlich eine Herausforderung ist, dass mans gut aufbereitet, aber dann könnens / könnens mit sicherlich viel Sachen selber erfahren und ausprobieren. Und man kann Fragestellungen, die man bisher vielleicht, da jetzt in den Konzept eben mit Animationen gemacht hat auch zusätzlich (unv.) durchführen. Ja, also sicher. I man, sie haben vielleicht den Vorteil, dass sie es selber erforschen können. Und das fehlt vielleicht dann doch ab und zu noch. 00:13:03-8	76
	77
	78
	79
	80
	81
	82
	83
	84
Interviewer: Wie stellst du dir das vor: Wo würdest du das einsetzen? In der Unterstufe, oder doch eher in der Oberstufe? 00:13:11-0	85
	86
	87
Respondent: Naja, das Konzept ist eigentlich so wies da jetzt ist für die Unterstufe vorgesehen. Also kann ichs für die Unterstufe / ahm, da kann mans sicher einbaun, aber I denk auch, dass es in der Oberstufe ah sehr hilfreich sein kann. Also I verwend auch des Konzept teilweise in der Oberstufe, weils einfach / oder Teile davon. 00:13:30-7	88
	89
	90
	91
	92
<i>Der Befragte führt die Einsetzbarkeit des Münchner Kurses in der Oberstufe aus.</i>	93

94 00:13:45-1

95

96 Interviewer: Würdest du den Luftkissengleiter jetzt, wenn man von der Oberstufe redet,  
97 selber bauen wollen? Eventuell auch mit den Schülerinnen und Schülern. 00:14:04-0

98

99 Respondent: In der Unterstufe oder Oberstufe? 00:14:05-0

100

101 Interviewer: Eigentlich generell. 00:14:06-4

102

103 Respondent: Also wenn / also ich find, dass ich / mir ist die Zeit immer ein bissl zu schade,  
104 dass ich sie basteln lasse. Des / da täte ich sie vielleicht in Werken oder sowas basteln  
105 lassen, dass ich das dann verwenden kann. Aber ich wills eigentlich nicht / also, ich finde  
106 das hat jetzt keinen Mehrwert für eine Physikstunde. Aber wenn mans mal hat, dann kann  
107 mans ja immer wieder verwenden. Also auch dann, wenn überhaupt, fächerübergreifend in  
108 Kooperation mit Werken. 00:14:37-1

109

110 *Generelles Gespräch über Bauzeit des Luftkissengleiters und Umsetzbarkeit in einer*  
111 *Werkeinheit. 00:15:44-4*

112

113 Interviewer: Welche Schwierigkeiten siehst du beim Einsatz des Luftkissengleiters im  
114 Unterricht? 00:15:52-5

115

116 Respondent: Er schaut mir ein bisschen zerbrechlich aus. Also I waß ned wie lang er hält.  
117 Wenn des ned hundertprozentig stabil ist und des länger aushält, dann kanns halt sehr  
118 schnell nach hinten losgehen. Dass I das nimmer zusammenbringe, was ich zeigen will. Des  
119 letzte was ich brauch sind Experimente, die dann nicht sicher funktionieren. Aber das wird  
120 die Erfahrung zeigen, denke ich mal. 00:16:30-3

121

122 *Generelles Gespräch über die geplante Aussetzung im Unterricht im Zuge eines*  
123 *weiterführenden Projekts (eventuell eigene Diplomarbeit). 00:17:38-9*

124

Respondent: Es muss wirklich funktionieren. Sonst / das ist das Wichtigste. Es muss	125
wirklich deutlich zu sehen sein was ich zeigen will. 00:17:50-8	126
	127
Interviewer: Ahm, sonst noch, außer dem Fragilitätseinwand? Irgendwas, wo du denkst,	128
dass schwierig sein könnte? 00:18:03-0	129
	130
Respondent: Nein, glaube ich nicht. 00:18:04-1	131
	132
Interviewer: Und dass sie verstehen was da passiert? Also es ist deiner Meinung nach keine	133
"Black Box"? 00:18:07-0	134
	135
Respondent: Nein. Glaube ich nicht. Also, dass da / nein. Das verstehen sie. Also die	136
Reibung, dass die weggenommen wird mit / des glaub ich, ist okay. 00:18:22-5	137
	138
Interviewer: Kannst du dir vorstellen so einen Luftkissengleiter für deinen	139
Mechanikunterricht zu verwenden? 00:18:35-2	140
	141
Respondent: Auf alle Fälle. Ja. Also für mich / also solche Sachen kann man, glaube ich,	142
nicht genug haben, wo man den Schülern was in die Hand geben kann und wos	143
untersuchen kann. Wo er selber was ausprobiert. Also da gibts nicht genug Material, dass	144
man / Also das täte ich sofort nehmen und selbst wenn ich es nur selber herzeige ist es	145
schon zum Herzeigen schön. Weil wo hat man schon so einfach einen Körper der	146
reibungslos dahinfährt. Also / 00:19:17-9	147
	148
Interviewer: Ahm, du hast vorher von der Zusatzgeschwindigkeit gesprochen, das ganze	149
wird ja mit Pfeilen dargestellt. Kannst du dir vorstellen, dass du das mit den Schülerinnen	150
und Schülern machst, dieses Konstruieren anhand des Luftkissengleiters? 00:19:43-3	151
	152
Respondent: Jo. Na sicher. Das (Anm. Konstruktion der Zusatzgeschwindigkeit) ist ja der	153
Sinn der Sache. Also / I bin mir ned sicher, also man kann das natürlich so schön	154
aufbereiten, aber ich bin mir jetzt ned sicher ob man des jetzt unbedingt braucht. Ich glaub	155

156 des is so anschaulich, dass des auch so zu sehen ist. I glaub, dass man das jetzt extra  
157 aufnehmen muss / I glaub des sieht der Schüler auch so schon. Sicher ist es was schönes,  
158 wenn man das noch dazu hat, aber des ist so auch / . 00:20:34-1

159

160 *Gespräch über den Einsatz des 3D-Drucks für schulische Zwecke. 00:21:19-8*

161

162 Interviewer: Würdest du dir die Bauteile nun selbst, mit einem 3D-Drucker, drucken  
163 wollen, oder hättest du lieber einen Bausatz? 00:21:25-9

164

165 Respondent: Naja, wenn ichs um den selben Preis krieg, dann hätte ichs gleich lieber so  
166 (Anm.: Bausatz). Aber / ja sicher, ist praktischer, wenn man das so bestellen kann. Aber ich  
167 denk mal / ich hab mich noch nie mit sowas beschäftigt, mit einem 3D-Drucker, ich kenn  
168 mich da auch nicht aus. Aber es wird ned so tragisch sein. Wenn des einfach geht und es  
169 billig ist, dann wird man das auch natürlich in Betracht ziehen. Aber lieber ist es mir  
170 natürlich, wenn mir wer das hinstellt und sagt: Da hast dus. 00:21:58-9

171

172 *Dank und Verabschiedung. 00:22:04-5*

	1
<b>Interview 5 (I5)</b>	2
<b>Induktionsphase</b>	3
Die Induktionsphase ist für alle Interviews ident (siehe 0. <b>Induktionsphase</b> )	4
	5
<b>Interviewphase</b>	6
ab 00:10:05-3	7
	8
Interviewer: Wieviele Unterrichtsjahre unterrichtest du bereits Mechanik im Physikunterricht? 00:10:00-2	9 10
	11
Respondent: Des sind ahm, zwei Jahre. 00:10:01-7	12
	13
Interviewer: Mhm. Wieviele Jahre davon hast du das Münchner Konzept verwendet? 00:10:03-1	14 15
	16
Respondent: Ein Jahr, bis jetzt. 00:10:06-1	17
	18
Interviewer: Passt. Inwiefern eignet sich der Luftkissengleiter für den Unterricht mit dem Mechanikkonzept der LMU München? 00:10:12-7	19 20
	21
Respondent: Als bis jetzt habe ich vom LMU den, den Fußball oder diesen Airpuck verwendet. Der seine Wirkung, als relativ robustes Ding, ganz gut getan hat. Speziell fürn Unterricht. Mit gefällt aber dieses Selbstbaukonzept ganz gut, muss ich gestehen. Ahm, und von der Wirkungsweise ist es sehr ähnlich, bis auf die Tatsache, dass der Luftkissengleiter einen eigenständigen Antrieb hat. Sprich die Beschleunigung oder die Bewegung an sich selbstständig einleiten kann. Und beim Münchner Konzept mit den Airpucks / oder mit den Airpucks allgemein ist es das Problem, dass du immer wieder den, den Impuls du geben kannst und keinen unter Anführungszeichen fixierten ähm geben kannst. Wo, was interessant macht für die Schüler zum Sehen. Okay, wenn ich mehr anstoße fahrts schneller, was aber jetzt von der Mechanik her sicher in dem Fall, als im Luftkissenfahrzeug-Fall sicher genauer ist zum Darstellen. 00:11:18-4	22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
	33
Interviewer: Okay, ja. Also was ich jetzt so raushöre ist, dass es geeignet ist, speziell in	34

35 Substitution von diesem Airpucks. 00:11:26-1

36

37 Respondent: Genau, ja. Und was sicher auch noch lustig ist, ist dass man die Unterstufe,  
38 wo sie noch recht viel Werken haben, sowas sicher ganz gut für den Werkunterricht  
39 beauftragen könnte. 00:11:38-7

40

41 Interviewer: Also umsetzbar im Zuge von fächerübergreifenden Unterricht. 00:11:42-0

42

43 *Der Befragte führt ein Beispiel von fächerübergreifenden Unterricht (Werken und Physik)*  
44 *an. 00:12:10-5*

45

46 Interviewer: Wo du gerade angesprochen hast, denkst du, dass dieses Selberbauen für  
47 das konzeptuelle Verständnis der Mechanik förderlich ist? 00:12:19-5

48

49 Respondent: Ja, absolut. Absolut. Warum? Ist ganz einfach deswegen, weil sie überlegen  
50 müssen warum verwende ich etwas, was hat das für welche Auswirkungen auf mein  
51 Experiment. Und was hat das für eine Einwirkung, beziehungsweise, was / wo steckt die  
52 Physik dahinter? Was ist für uns das Interessante? Warum bauen wir das? Ja, klar.  
53 Reibungsfreier Gleit/ ähm, reibungsfrei ähm, dass man mal das Hover Craft an sich baun.  
54 Zusätzlich die Bewegung, die man / oder den Impuls oder die, die Bewegung, die wir  
55 hinzufügen über den zweiten Propeller. Jo, definitiv. Auch die ganze Elektronik ist  
56 interessant. Wenn man dann drauf kommt. 00:13:01-1

57

58 *Der Befragte führt aus, dass die Unterstufe, wegen der Werkeinheiten, besser zum Bauen*  
59 *geeignet ist. 00:13:29-2*

60

61 Respondent: Grundsätzlich glaube ich, dass diese Experimente, so wie sie auch aus dem  
62 LMU kommen, besser für die Unterstufe geeignet sind als für die Oberstufe. Sprich auch  
63 das Basteln. Aber in der Zweiten vielleicht ... eher zum Herzeigen. 00:13:50-1

64

65 Interviewer: An welcher Stelle würdest du den Luftkissengleiter im Lehrgang einsetzen?  
66 00:14:28-5

67

68 Respondent: Also ich glaube, dass es / I mein ich kenne das Konzept. Ähm, ich glaube,

dass es, wenn man es richtig einsetzt, überall, oder fast überall einsetzbar ist. Also 69  
wirklich angefangen vom, vom Tempo mit einer Richtung dazu. Sprich man baut die 70  
Geschwindigkeit auf, kann man über die Air Pucks genauso machen. Bei der 71  
Zusatzgeschwindigkeit ist es absolut perfekt, meiner Meinung nach. Also da definitiv. 72  
Bei der Bewegungsgleichung wirds wahrscheinlich eher wieder schwieriger werden, 73  
weil dort besser wahrscheinlich mit, mit ahm, speziell dann / Blödsinn, wo war ich / die 74  
Bewegungsgleichung, das ist ja im Prinzip mit der Zusatzgeschwindigkeit sehr, sehr eng 75  
gekoppelt. Natürlich kann mans verwenden. Also Zusatzgeschwindigkeit, Einwirkzeit 76  
und so weiter. Wenn man mit der Zeit auch spielt, kann man ja sagen / Zeitschalter. Ja. 77  
Die Größeren könnten das in Gruppen erarbeiten, die Kleinen nicht. 00:15:23-4 78

*Der Befragte stellt, nach Anleitung des Interviewers, den Zeitschalter am Luftkissengleiter 80  
so ein, dass er nach einer gewissen Zeit den horizontalen Antrieb deaktiviert. 81*

*00:16:37-7 82*

Interviewer: Also was ich herausgehört habe: Von Anfang an eigentlich, bei Tempo, 84  
Richtung, Geschwindigkeit. Speziell dann bei der Zusatzgeschwindigkeit und bei der 85  
Newtonschen Bewegungsgleichung ist er auch einsetzbar, deiner Meinung nach. Ja. 86  
Okay, Wechselwirkungsprinzip ist schwierig . 00:16:52-1 87

Respondent: Ja, genau. Dann wirds dann eher schwieriger. Reibungskräfte könnte man 89  
das reibungsfrei dann irgendwie einsetzen. Aber sonst ist es wahrscheinlich eher 90  
schwierig. 00:17:01-6 91

Interviewer: Mhm. Okay, prima. Ahm, können jetzt deine Schülerinnen und Schüler an 93  
diesem Luftkissengleiter Mechanik lernen? 00:17:11-6 94

Respondent: (Denkt nach). Ist eine schwierige Frage und kann man so nicht 96  
beantworten, glaub ich, weil es immer drauf an kommt wie mans lehrt. Ahm, ich glaub 97  
schon, dass man Verschiedenes zeigen kann, nur ob sie wirklich daraus was gelernt 98  
haben und ob sie das wirklich lernen können, das ist immer das große Fragezeichen, 99  
das, glaube ich, für uns Lehrer allgemein ein Problem darstellt. Kann ich so ned 100  
beantworten, in der Art und Weise. Ist aber a Unterstützung. Bin mir sicher. 00:17:49-4 101

102

103

104 Interviewer: Also begleitend ist es, denkst du, wertvoll für den Mechanikunterricht?  
105 00:17:53-2

106

107 Respondent: Definitiv. Also jede, jede, jede Art von Bewegung zeigen ist, glaube ich,  
108 extrem wichtig. 00:17:58-4

109

110 Interviewer: Wo würdest du den Luftkissengleiter einsetzen? In der Unterstufe, oder  
111 doch eher in der Oberstufe? 00:18:06-1

112

113 *Der Befragte führt ein Beispiel von seinem Unterricht an, wie er eine Brücke in der*  
114 *Mechanik von der Unterstufe zur Oberstufe schlägt. 00:19:14-6*

115

116 Interviewer: Welche Schwierigkeiten siehst du beim Einsatz von dem Luftkissengleiter  
117 im Mechanikunterricht? 00:19:24-4

118

119 Respondent: Da muss ich überlegen... Na, I muss sagen, die Idee und das Konzept  
120 dahinter ist genial. Also ist wirklich gut und super überlegt. Ich glaub, dass des / dass es  
121 filigran ist. Dass es für den Unterricht ahm, für Einweg: ja, wenns länger im  
122 Physikkammerl steht, glaub ich, is relativ schnell kaputt. Jo. 00:20:10-6

123

124 *Der Befragte führt für seine Schule aus, dass einige Eltern die Samsung-Akkus als*  
125 *Schleichwerbung interpretieren könnten. 00:21:28-7*

126

127 Interviewer: Können Sie sich vorstellen den Luftkissengleiter für Ihren  
128 Mechanikunterricht zu verwenden? 00:21:49-9

129

130 Respondent: Auch das ist eine schwierige Frage. @ Ahm,... Wie könnte ich ihn  
131 einsetzen?... Naja, ich kann mir schon vorstellen, wie gesagt, statt dem Airpuck an sich,  
132 den ich im Speziellen jetzt / ... Ja. Ich kann es mir gut vorstellen. Ja. Des, was das Ganze  
133 dann im Vergleich eben zu manch anderen Sachen verändert ist, dass einfach diese  
134 Marke Eigenbau. Ich glaube, dass speziell das so ein Punkt ist, der für die Kinder  
135 hochinteressant ist und im Rahmen des Bauens eben auch sehen wofür sind die  
136 einzelnen Teilen. Warum mach ich des? Warum ahm, bring ich des hin? Du kannst

hineinbringen und relativ schnell nämlich die Reibung mit dem wo du sehr schnell den	137
Kindern zeigen kannst, ja, des Resultat, wenn da die Luft nach unten geht, und seitlich	138
nicht raus kann, und mehr oder weniger den Luftpolster bildet, dass eben keine	139
Reibung da ist... Sprich wenn du wollen würdest, würde der ewig weit gleiten, zum	140
Beispiel. 00:23:28-0	141
	142
<i>Der Befragte führt nochmals, so wie ab 00:12:19-5, den Einfluss des Selberbauens auf das</i>	143
<i>Verständnis der Schülerinnen und Schüler bezüglich der Mechanik aus. 00:25:46-4</i>	144
	145
Interviewer: In Wien gibt es bereits mehrere Druckshops für 3D-Druck.	146
Die 3D-Druckdateien stehen online auf der Homepage des AECC Physik zum Download	147
zur Verfügung. Würden Sie den Luftkissengleiter selbst drucken wollen, oder würden	148
Sie einen fertigen Bausatz bevorzugen? 00:26:18-7	149
	150
Respondent: Also, das ich aus eine Lehrerfamilie komm und meine Mutter in einer	151
Schule ist wo zwei herumstehen, würde ich meiner Mutter die Datei in die Hand	152
drücken und sagen: Drucks mir bitte aus. Zumindest mal für einen Prototypen. Für die	153
Schule an sich, wenn ich weiß ich hab eine Klasse mit X Leuten... Das hab ich mir noch	154
nicht überlegt @. Obwohl viele Gedanken gerade durch meinen Kopf rattern. Ahm,...	155
Selberbauen, im Sinne von zusammensetzen, ist möglich. Diese Drucke zu machen ist,	156
glaube ich, schwierig. Also ist egal ob Unterstufe oder Oberstufe relativ schwierig. Ahm,	157
da ich in einer Schule bin, die eher, wie soll man sagen, eher gut situierte Schüler hat.	158
Haben einige private Schüler einen 3D-Drucker Zuhause. Da könnte man dann sicher	159
auch mit denen oder den Eltern reden. 00:27:34-3	160
	161
<i>Der Befragte führt die gute finanzielle Situation einiger Schülerinnen und Schüler an dem</i>	162
<i>Schulstandort aus. 00:28:39-4</i>	163
	164
Interviewer: Sind da jetzt noch ein paar Schwierigkeiten aufgefallen? Ein paar haben	165
wir eh schon angesprochen. 00:28:47-3	166
	167
Respondent: Ja, natürlich, der Druck, wenn man drüber redet, der Druck und die	168
Motoren / die Beschaffung, die muss man sich halt überlegen, aber das würde ich jetzt	169

170 nicht als Problem sehen. Ganz ehrlich. Vielleicht diese Balance / äh, Ballastgewichte.  
171 Vielleicht da woß anderes überlegen. Woß waß I nu ned. @ Aber vielleicht kann man da  
172 ein bissl/ 00:29:15-1

173

174 Interviewer: Ja, es ist so, dass auf jeden Fall einige Baustellen noch sind auf dem Ding.  
175 Das ist aber auch klar. Das ist logisch. 00:29:23-4

176

177 Respondent: Des ist ein Prototyp. Wo ist das nicht? 00:29:22-7

178

179 *Der Befragte lobt das Projekt und findet die Umsetzung und die Idee hinter dem*  
180 *Luftkissengleiter gut. 00:30:55-9*

181

182 Interviewer: Was findest du besonders wertvoll? Wo hebt sich der Luftkissengleiter von  
183 anderen Unterrichtsmaterialien in diesem Feld ab? 00:31:10-0

184

185 Respondent: Naja, die Einfachheit. Des Wesentliche ist wirklich die Einfachheit und  
186 eigentlich auch die Möglichkeit des Eigenbaus. I bin, wie gesagt, eh schon durchs ganze  
187 Interview jetzt gezogen, eigentlich ein Fan von alles was die Schüler selber machen  
188 können, selber irgendwie als Projekt fabrizieren können, fördert extrem erstens mal die  
189 soziale Kompetenz. Da sie einfach wirklich gemeinsam an was arbeiten müssen. Würde  
190 ich nicht als Einzelprojekt machen, würde ich als Gruppenprojekt machen, zwei drei  
191 Leute zusammen und bauen. Fördert gleichzeitig auch das Know How, also das Wissen,  
192 dass / dass / wos muss I eigentlich mochen, dass es funktioniert und wie kann ich, wenn  
193 ein Fehler drinnen ist, wie kann ichs verbessern? Ahm, das ist ja auch nicht ganz einfach.  
194 00:31:57-4

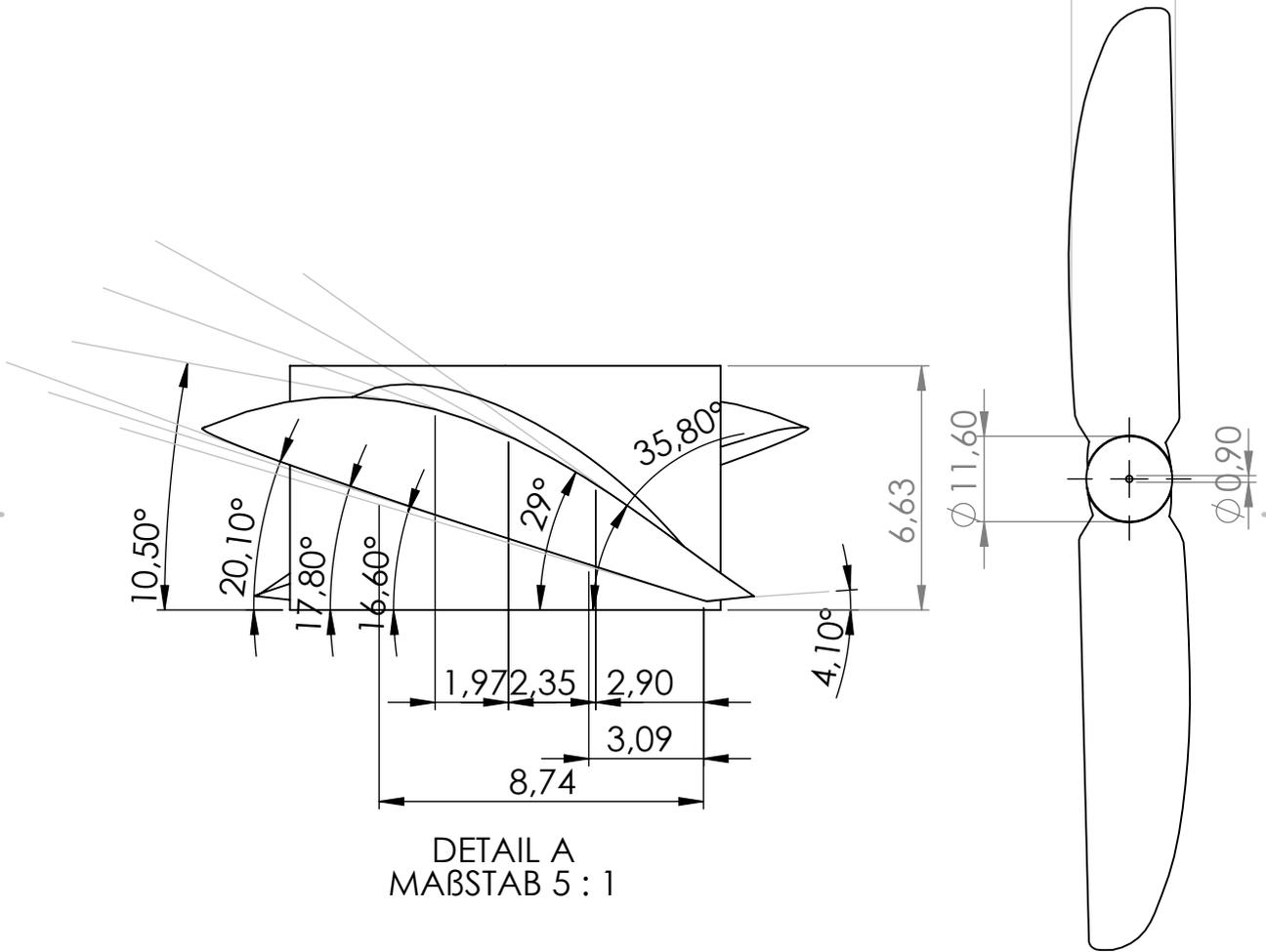
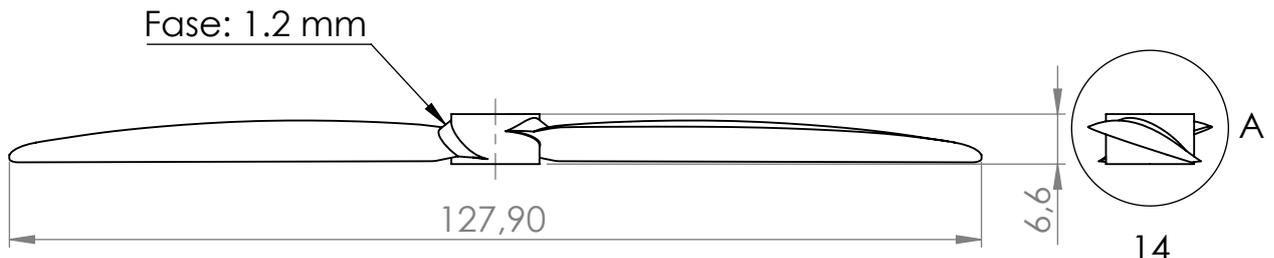
195

196 *Verabschiedung und Dank 00:32:20-0*

## **Anhang B**

Der fachfolgendeAnhang B beinhaltet die Fertigungszeichnungen der 3D-gedruckten Bauteile:

- Propeller (Prop. Hover Puck)
- Aufbau (Structure Hover Puck)
- Propeller – skaliert (Prop. Hover Puck scaled)



DETAIL A  
MAßSTAB 5 : 1

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: /  
TOLERANZEN: /  
LINEAR: /  
WINKEL: /

OBERFLÄCHENGÜTE:  
**3D-print**

ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN

ÄNDERUNG

NAME	SIGNATUR	DATUM
GEZEICHNET: Josef E. Pürmayr		May 2016
GEPRÜFT		
GENEHMIGT		
PRODUKTION		
QUALITÄT		
WERKSTOFF: <b>ABS</b>		
GEWICHT:		

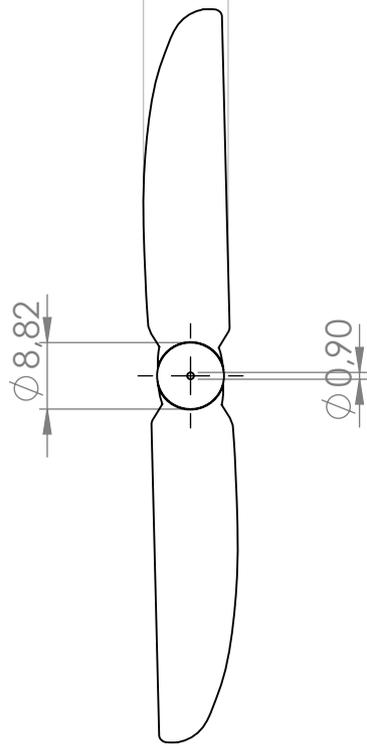
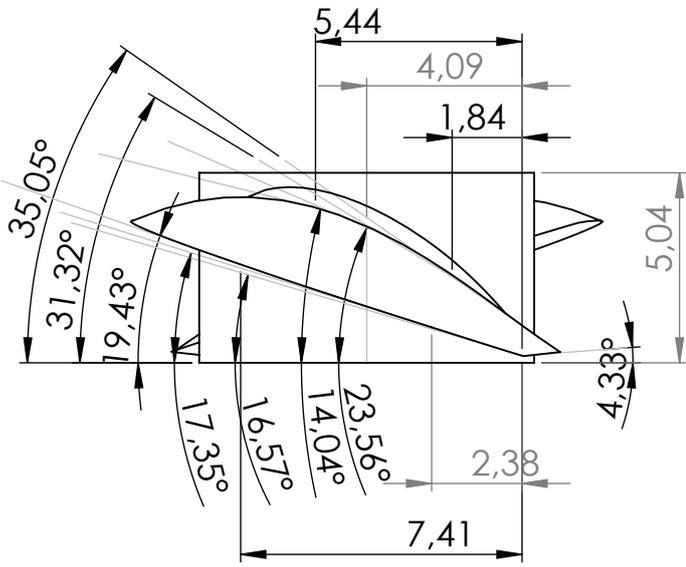
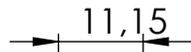
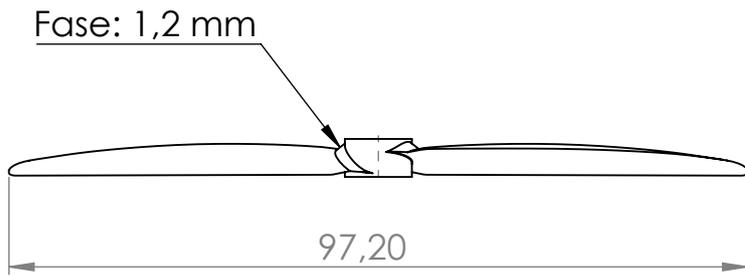
BENENNUNG:  
**Prop. Hover Puck**

ZEICHNUNGSNR.  
**V. 1.0**

A4

MAßSTAB: 1:1  
BLATT 1 VON 1





DETAIL A  
MAßSTAB 5 : 1

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:  
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER  
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: /  
TOLERANZEN: /  
LINEAR: /  
WINKEL: /

OBERFLÄCHENGÜTE:  
3D-print

ENTGRATEN  
UND SCHARFE  
KANTEN  
BRECHEN

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN

ÄNDERUNG

NAME	SIGNATUR	DATUM
GEZEICHNET: Josef E. Pürmayr		May 2016
GEPRÜFT		
GENEHMIGT		
PRODUKTION		
QUALITÄT		
WERKSTOFF: ABS		
GEWICHT:		

BENENNUNG:  
**Prop. Hover Puck  
scaled**

ZEICHNUNGSNR.  
**V. 1.1**

MAßSTAB: 1:1

BLATT 1 VON 1

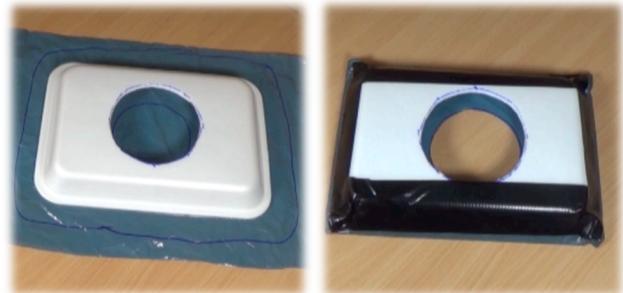
A4

# Anhang C

## Hover Puck Construction Manual

A hole ( $\varnothing 10\text{cm}$ ) is cut in the center of the styrofoam take-away-tray. A marker is used to trace the outline of the tray and the hole onto a plastic bag (leave 2 cm extra). Use a pair of scissors to cut along the marked outline and the hole. The tray is centered on the cut plastic bag and duct tape is used to stick the lashes of extra plastic on the sides of the tray.

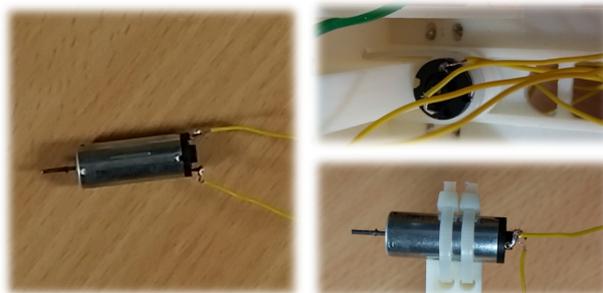
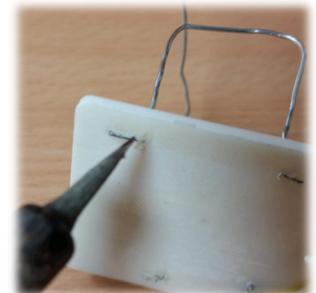
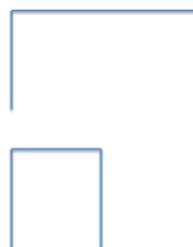
Tipp: Do not tighten the plastic foil too much.



Four holes are drilled through the tray and the foil as depicted in the illustration (left). The holes in the plastic bag are supported by a piece of duct tape. Threads are threaded through the holes and are knotted on the top. A small gap is created between the underground and the plastic. This is where an air cushion can form – the reason why it is able to hover.

Two paperclips are bent like pictured on the right. The bent wire is placed in the elevated, cylindrical mounts. Once the wire is stuck through, it has to be bent on the very end in an  $90^\circ$  angle. It is fixed to the structure by softening the 3D-printed material of the structure using a soldering bolt.

Tipp: The holes might have to be pre-drilled first.



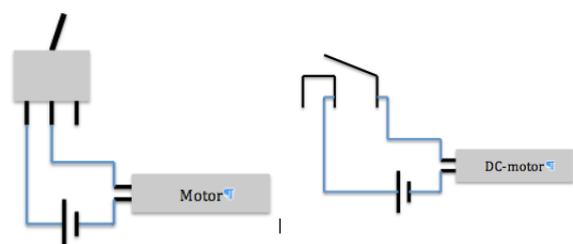
The wires are soldered to the contacts of the DC-motors. The motors are mounted on the base structure as shown in the illustration on the left.

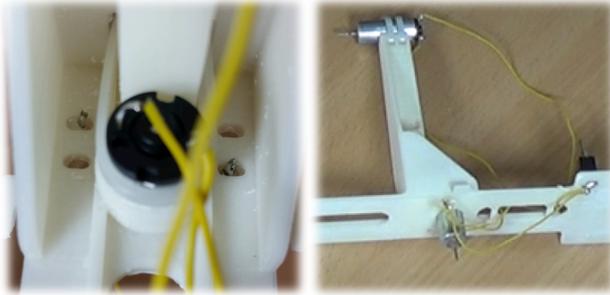
Tipp: The mount for the vertical motor might have to be widened using a file.

The flip switch is placed in the three predrilled holes and is connected to one wire of the vertical DC-motor (middle contact of the switch) - illustr. on the left.

One wire of the horizontal DC-motor is connected to the L-shaped time-delay switch. Wiring the battery-contacts is explained in the next step.

Tipp: The cables should not be too loose (rotating propellers).



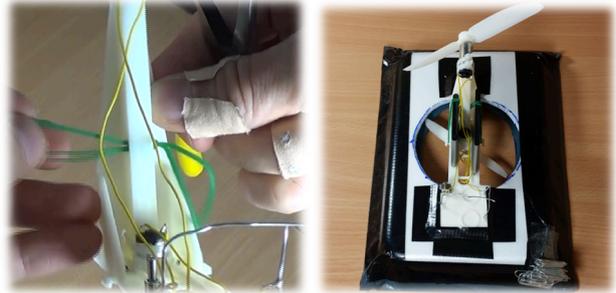


The holes for the battery-contacts are designed for Samsung cellphone batteries and are already precasted by the 3D-printer. The cable stands are bundled with a drop of solder or with an end splice. Hot glue fixes the cable in the holes.

Tipp 1: Check correct polarity – direction of rotation.

Tipp 2: There has to be contact between the contacts of cable and battery.

The propellers are placed on the shafts of the DC-motors (big: horizontal; small: vertical). The structure is placed on the base and is held in place with three to four pieces of duct tape. A rubber band is tucked through the hole. The batteries are put in place using the plug-in-system and are hold down onto the contacts by the rubber band.



Foam ear plugs are used for the time delay switch. A bent paper clip serves for manipulating the switch in its extended state. Hot glue is used to stick the paper clip to the tips of the ear plugs. By pressing down the ear plugs, a time delay can be realized. The long piece of wire is pushed against the metal bow, by the re-expanding foam ear plug.

For balancing, small packages of paper clips serve as counterweights. The packages are held together with adhesive tape in a way, that a small portion protrudes the package. This adhesive flap is used to fix the counterweights on the edges of the Hover Puck to ensure a stable and balanced run. Depending on the kind of motion the Hover Puck has to be balanced differently.

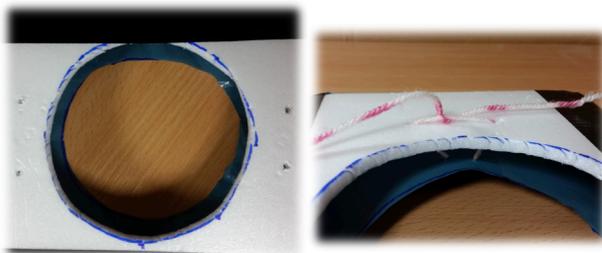


# Luftkissengleiter

## Bauanleitung

Mit einem Messer wird ein Loch ( $\varnothing 10\text{cm}$ ) in die Polystyrolschale geschnitten. Die Form des Loches und jene des Gleiters werden auf den einlagig ausgebreiteten Müllsack übertragen, wobei etwa 2 cm überstehend gelassen werden. Mit einer Schere wird der Müllsack entsprechend der Markierungen zurecht geschnitten.

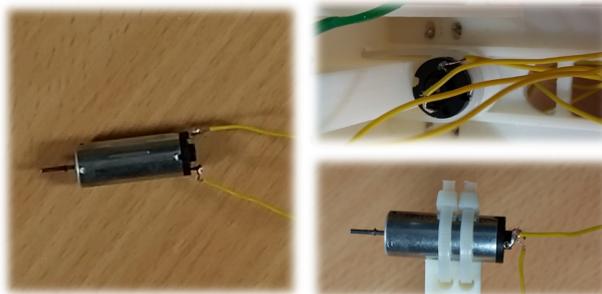
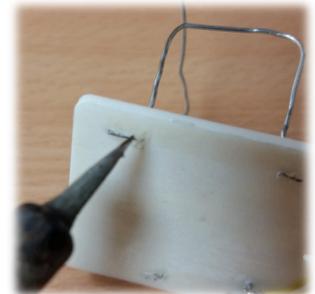
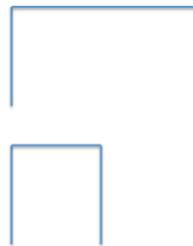
Mit Hilfe von einem Gewebebandes wird die Plastikfolie an der Schale befestigt (nicht allzu straff).



Es werden vier Löcher in den Müllsack, sowie die Schale gebohrt (siehe links). Die Löcher im Müllsack werden mit Gewebeband verstärkt. Fäden werden durch die Löcher durchgefädelt und oben verknotet. Dadurch wird der Kunststoff hochgezogen, sodass sich ein Luftkissen zwischen Kunststoff und Untergrund ausbilden kann.

Zwei Büroklammern werden nach der Vorlage in der linken Abbildung gebogen und in die dafür vorgesehenen, zylinderförmigen Erhöhungen gesteckt. Stecken die Drähte in den Halterungen, so werden auf der Unterseite ca. 5mm des Drahtes im rechten Winkel gebogen und mit dem Lötcolben im Material versenkt.

Tipp: Die Löcher in den Halterungen müssen eventuell nachgebohrt werden.



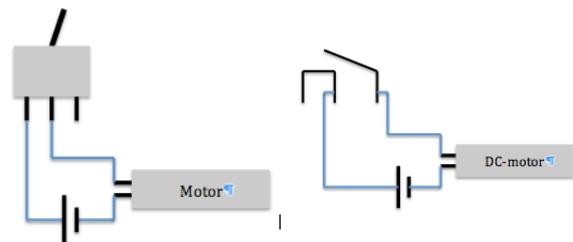
Die Kabel werden an die Kontakte der Gleichstrommotoren gelötet. Die Motoren werden mit Kabelbindern, entsprechend der Abbildung links, am Aufbau befestigt. Eventuell muss mit einer Feile die Bohrung etwas angepasst werden.

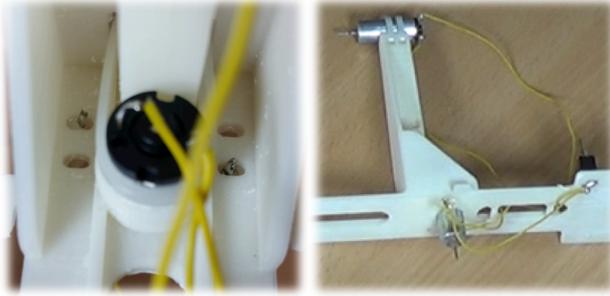
Der Kippschalter wird in die drei vorgebohrten Löcher eingebracht und mit einem Kabel des vertikalen Motors verbunden (mittlerer Schalterkontakt) – linke Abbildung.

Das Kabel des horizontalen Motors wird mit dem L-förmigen Draht verlötet.

Die Verbindungen mit den Akkus werden im nächsten Schritt erklärt.

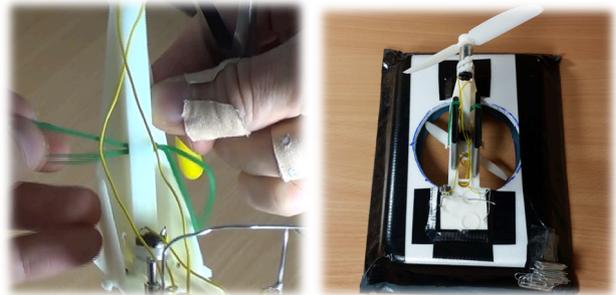
Tipp: Die Kabellänge soll relativ knapp bemessen sein (wegen dem Propeller).





Die Löcher für das Akku-Stecksystem sind bereits durch den 3D-Druck vorgegeben und sind auf Samsung-Handyakkus abgestimmt. Die Kabellitzen, welche zu den Kontaktstellen führen, werden entweder mit Aderendhülsen gebündelt oder mit einem kleinen Tropfen Lötzinn verschmolzen. Heißkleber fixiert das Kabel in der Kontaktstelle.  
Tipp 1: Auf die Polung achten – Motordrehrichtung.  
Tipp 2: Es muss ein Kontakt zwischen Akku und Draht bestehen.

Die Propeller werden auf die Motorwellen gesteckt (groß: horizontal; klein: vertikal). Der Aufbau wird auf dem Gleiter positioniert und mit drei bis vier kleinen Gewebestücken fixiert. Ein Gummiband wird durch das vorgesehene Loch gesteckt. Die Akkus werden im Stecksystem platziert und mit dem eingehakten Gummiband auf die Kontakte gedrückt.



Schaumstoff-Ohrstöpsel werden als Zeitverzögerungsschalter verwendet. Eine zurechtgebogene Büroklammer dient als Brücke zwischen den beiden Ohrstöpsel und wird mit Heißkleber auf denen befestigt. Durch Zusammendrücken der Ohrstöpsel kann eine Zeitverzögerung erreicht werden, da der Kontakt der Drahtbügel erst durch die ausgedehnten Ohrstöpsel wieder hergestellt wird.

Zum Ausbalancieren werden kleine Pakete mit Büroklammern verwendet. Diese werden mit einem Streifen Klebeband so umwickelt, dass eine klebendes Lasche übrig bleibt und wegsteht. Diese Pakete können auf die Kanten / Ecken des Luftkissengleiters geklebt werden um die Fahrt zu stabilisieren. Für lineare Demonstrationen eignet sich eine andere Konfiguration besser als für eine Beschleunigung normal zur Initialgeschwindigkeit.



## Anhang D

### Zusammenfassung

Die *Mechanik* stellt im Physikunterricht an österreichischen Schulen in der sechsten Schulstufe einen wesentlichen Anteil des Lehrstoffs dar.

Aufbauend auf einen zweidimensionalen, dynamischen Unterrichtsgang (Münchener Kurs), wurde ein Luftkissengleiter konstruiert und gefertigt, welcher durch Reibungsreduktion, Bewegungen in einer zweidimensionalen Ebene ermöglicht. Auf den Luftkissengleiter wurde ein horizontaler Antrieb (Ventilator) aufgebaut, wodurch es möglich wird, konstant beschleunigte Bewegungen in Kombination mit einer frei wählbaren Anfangsgeschwindigkeit zu zeigen.

Zusätzlich zur Entwicklung des Luftkissengleiters, wurden Einschätzungen von Lehrerinnen und Lehrern bezüglich des Einsatzes des Luftkissengleiters im Mechanikunterricht nach dem Münchener Kurs eingeholt.

Die vorgestellten Ergebnisse können, in einer Weiterführung des Projekts, als Grundlage für die weitere Entwicklung und Beforschung des Luftkissengleiters sowie dessen Einsatzes im Mechanikunterricht dienen.

### Abstract

The topic of *mechanics* represents a fundamental part of the 6<sup>th</sup> grade curriculum in physics education in Austria.

Based on a two-dimensional mechanics curriculum (Münchener Mechanikkurs), a 2D-Hover Puck has been designed and engineered. By successfully reducing friction on a tabletop plane, two dimensional motion can be shown. A horizontal motor-driven fan has been mounted on top of the Hover Puck to extend the initial two-dimensional motion by constant acceleration in an arbitrary direction.

Additionally to the construction of the Hover Puck, teachers have been interviewed to get insight in possible applications of the Hover Puck in physics lessons within the Münchener Mechanikkurs.

Findings of this thesis can be used as a basis for further development and research concerning the Hover Puck and its use as a teaching tool in mechanics.

## Literaturverzeichnis

- Amyot, J. R. (1990). *Hovercraft Technology, Economics and Applications*. Oxford: Elsevier.
- Bohnsack, R., Marotzki, W., & Meuser, M. (Hrsg.). (2011). *Hauptbegriffe qualitativer Sozialforschung* (dritte durchgesehene Auflage). Opladen: Budrich.
- Börrnert, R. (2006). *Erziehungs-Wissenschaftliches Arbeiten im Studium*. Münster: Waxmann Verlag.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6. Aufl.). London: Routledge.
- Dudszus, A., Henriot, E., Köpcke, A., & Krumrey, F. (1998). *Das große Buch der Schiffstypen. Schiffe, Boote, Flöße unter Riemen und Segel, Dampfschiffe, Motorschiffe, Meerestechnik*. Stuttgart: Pietsch.
- Duit, R. (1993). Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik*, (16), 4–10.
- Heran-Dörr, E. (2012). *Von Schülervorstellungen zu anschlussfähigem Wissen im Sachunterricht*. Kiel: IPN Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.
- Hopf, M., Wilhelm, T., Waltner, C., Tobias, V., & Wiesner, H. (2011). Einführung in die Mechanik. Abgerufen von [https://aeccp.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/kompetenzzentrum\\_aeccp/Materialien\\_Physik\\_Verstaendlich/Mechanik/Mechanikbuch\\_Druckversion.pdf](https://aeccp.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/kompetenzzentrum_aeccp/Materialien_Physik_Verstaendlich/Mechanik/Mechanikbuch_Druckversion.pdf)
- Hovercraft Museum. (2010, Juli 5). SR.N6 Technical Information. Abgerufen 5. September 2016, von <http://www.hovercraft-museum.org/srn6-tech.html>
- Jung, W. (1980). *Mechanik für die Sekundarstufe I*. Frankfurt am Main: Diesterweg.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie*, 34(13), 2–6.

- Jung, W., Reul, H., & Schwedes, S. (1977). *Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6*. Frankfurt am Main: Diesterweg.
- Morse, R. A. (1993). Constant Acceleration: Experiments with a Fan-Driven Dynamics Cart. *The Physics Teacher*, 31(7), 436–38.
- Morse, R. A. (2005). Fan Unit Physics. *The Physics Teacher*, 43, 162.  
<https://doi.org/10.1119/1.1869427>
- Müller, R., Wodzinski, R., & Hopf, M. (Hrsg.). (2011). *Schülervorstellungen in der Physik: Festschrift für Hartmut Wiesner* (3. Aufl.). Köln: Aulis Verlag.
- Statista. (2015). Marktanteile der Hersteller an der Smartphone-Nutzung in Deutschland 2015 | Statistik. Abgerufen 12. November 2016, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/209284/umfrage/marktanteile-der-smartphone-hersteller-in-deutschland/>
- Steinberg, M. S., Brown, D. E., & Clement, J. (1990). Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education*, 12(3), 265–273. <https://doi.org/10.1080/0950069900120305>
- Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M., Wilhelm, T., & Wiesner, H. (2010). Dynamischer Mechanikunterricht - Ergebnisse einer quantitativen Vergleichsstudie. In *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Abgerufen von <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/111>
- Wick, D. (Hrsg.). (2013). *Biomechanik im Sport: Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegungen* (3., überarbeitete und erweiterte Auflage). Balingen: Spitta.
- Wiesner, H., Schecker, H., & Hopf, M. (Hrsg.). (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis Verlag.

- Wiesner, H., Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M., Wilhelm, T., & Sen, A. I. (2010). Dynamik in den Mechanikunterricht. In *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Abgerufen von <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/116>
- Wiesner, H., Wilhelm, T., Waltner, C., Tobias, V., Rachel, A., Hopf, M., & Schwarze, H. (2011). *Mechanik 1: Kraft und Geschwindigkeitsänderung*. Hallbergmoos: Aulis-Verlag.
- Wilhelm, T., & Heuer, D. (2002). Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung. *Praxis der Naturwissenschaften—Physik in der Schule*, (7/51), 29–34.
- Wodzinski, R. (1996). *Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht*. Münster: Lit Verlag.
- Wodzinski, R. (2006). *Lernschwierigkeiten erkennen - verständnisvolles Lernen fördern: Beschreibung des Naturwissenschaftsmoduls G4. SINUS-Transfer Grundschule*. Kiel: IPN Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.
- Yun, L., & Bliault, A. (2000). *Theory and Design of Air Cushion Craft*. Oxford: Elsevier.

## Abbildungsnachweis

Abbildung	Seite
Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Luftkissengleiters. <a href="https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/31/Hovercraft - scheme.svg">https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/31/Hovercraft - scheme.svg</a> Zugriff am: 16.10.2016	16
Abbildung 4: Getrennte Abteilungen eines SR No.6 Luftkissenfahrzeuges der Winchesterklasse. Hersteller: British Hovercraft Cooperation <a href="http://www.jameshovercraft.co.uk/includes/gallery.php?galName=g_n6hmDiag&amp;imageNo=7&amp;pgURL=http://www.jameshovercraft.co.uk/hover/hovermus/srn6hm.php&amp;hoverMus=1">http://www.jameshovercraft.co.uk/includes/gallery.php?galName=g_n6hmDiag&amp;imageNo=7&amp;pgURL=http://www.jameshovercraft.co.uk/hover/hovermus/srn6hm.php&amp;hoverMus=1</a> Zugriff am: 7.11.2016	19
Abbildung 5: Taschenschürze <a href="http://www.arsp.sojo-u.ac.jp/acv/acv/design/outline.html">http://www.arsp.sojo-u.ac.jp/acv/acv/design/outline.html</a> Zugriff am: 7.11.2016	19
Abbildung 6: Fingerschürze <a href="http://www.arsp.sojo-u.ac.jp/acv/acv/design/outline.html">http://www.arsp.sojo-u.ac.jp/acv/acv/design/outline.html</a> Zugriff am: 7.11.2016	19

## Lebenslauf

**Name:** Josef Emanuel Pürmayr  
**Geburtsdatum und- Ort:** 19. März 1990 in Rohrbach-Berg

### Ausbildung

August 2014 – Jänner 2015: **Auslandssemester: *University of Alberta***,  
Edmonton, Kanada

seit März 2012: ***Diplomstudium***, an der Universität Wien  
Unterrichtsfächer

- ***Physik***
- ***Bewegung und Sport***

Oktober 2011 – Jänner 2012: ***Bakkalaureat-Studium der Technischen Physik*** an  
der ***Technischen Universität Wien***  
Umstieg auf die ***Universität Wien*** im März 2012

September 2005 – Juli 2010: ***HTBLA für Maschineningenieurwesen***,  
4120 Neufelden  
Ausbildungsschwerpunkt: ***Automatisierungstechnik***  
***Matura mit Auszeichnung*** (25. Juni 2010)

September 2001 – Juli 2005: ***Hauptschule Rohrbach***, 4150 Rohrbach - Berg

September 1997 – Juli 2001: ***Volksschule Rohrbach***, 4150 Rohrbach - Berg

September 1996 – Juli 1997 ***Vorschule Rohrbach***, 4150 Rohrbach - Berg

### Kongressbeiträge / Publikationen

09/2016 ***GRIEP Conference*** in Krakau, Polen  
*Posterpräsentation* über die Entwicklungsarbeit meiner  
Diplomarbeit; ***Low Cost 2D-Hover Puck***

eingereicht ***Low Cost 2D-Hover Puck***, Tagungsband, GRIEP  
Pürmayr, J. E., Wolny, B., & Hopf, M.

### Beruflicher Werdegang

seit 03/2012 **Studienassistent / Studentischer Mitarbeiter: Austrian  
Educational Competence Center Physics der Universität  
Wien, 1090 Wien**  
Aufbereitung von forschungsrelevanten Rohdaten,  
assistierende Tätigkeiten im Rahmen von Projekten, Mitarbeit  
in der Planung und Durchführung der ***Plus Lucis***  
***Fortbildungswoche für Lehrerinnen und Lehrer***

08/2010 – 04/2011 **Zivildienst: Rotes Kreuz**, 4150 Rohrbach-Berg  
Ableistung des Zivildienstes als Rettungssanitäter