

Seminararbeit
im W-Seminar Physik:
„Erneuerbare Energien und Klimaschutz“

Thema:
Moderne Segelschifffahrt im Bezug auf VINDSKIP™



eingereicht von: Hanna Jacobsen
Seminarleiterin: StRin Silke Keser
Abgabetermin: 07. November 2023

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung.....	3
II. Physikalische Grundlagen.....	4
II.1 Auftrieb.....	4
II.2 Lateralplan.....	5
II.3 Rückbezug auf das VINDSKIP™.....	6
II.4 Wahrer und scheinbarer Wind.....	7
III. Formanalyse des VINDSKIP™.....	8
IV. Experiment zur Hilfe der Beantwortung der Forschungsfrage.....	10
IV.1 Aufbau.....	10
IV.2 Durchführung.....	11
IV.3 Fehleranalyse.....	13
V. Der Strömungswinkel.....	15
VI. Effektivität des VINDSKIP™.....	17
VII. Fazit.....	18
VII.1 Beantwortung der Forschungsfrage.....	18
VII.2 Ausblick über weitere Forschungsmöglichkeiten.....	18
VIII. Literaturverzeichnis.....	19
IX. Abbildungsverzeichnis.....	20
X. Anhang.....	21

I. Einleitung

Frachtschiffe sind ein essenzielles Transportmittel, denn sie liefern 90% aller Waren über verschiedene Schiffsrouten in die westlichen Industrieländer. Dabei stoßen sie ca. 3% des weltweiten CO₂ aus¹, was nur 1% weniger ist als der Anteil, der jährlich in Deutschland produziert wird⁵. Dieser Vergleich veranschaulicht, dass die Schifffahrt eine nicht zu vernachlässigende Rolle bezüglich der Klimaerwärmung unseres Planeten spielt. Um diese zu verhindern, versucht man umweltfreundliche Konzepte für die Schifffahrt zu entwickeln. Diese Entwürfe sind nicht immer neu, sie greifen auch auf Altbekanntes wie die Segelschifffahrt zurück, die seit mehreren tausend Jahren genutzt wird. Eines der Unternehmen, das es sich zur Aufgabe gemacht hat, ein ansatzweise klimaneutrales Schiff zu bauen ist VINDSKIP™, das 2016 gegründet wurde und in Zusammenarbeit mit LadeAS ein Schiff entwickelt hat, das auf 60 % des Treibstoffs verzichten kann².

Ich werde im Verlauf dieser Seminararbeit das Schiffsmodell des VINDSKIP™ wissenschaftlich untersuchen. Hierfür beginne ich mit den physikalischen Grundlagen des Auftriebs, der allgemeinen Verwendung dieses Effekts in der Schifffahrt und dem Nutzen, den das VINDSKIP™ von ihm trägt. Zudem erkläre ich das Prinzip des scheinbaren Windes und der Rolle, die dieser für die Fahrtrichtung des Schiffes hat, den Lateralplan hinzu und dessen Auswirkung auf Boote, die auf den Antrieb von Segeln angewiesen sind.

Für die Untersuchung des VINDSKIP™ auf experimenteller Ebene habe ich eine Kraftmessung mit Bezug auf die Richtung des Winds und die Form durchgeführt. Hierbei habe ich eine Luftkissenbahn aufgebaut und ein schematisches Modell des VINDSKIP™ angefertigt und es auf einem der für diese Bahn geschaffenen Gleiter montiert. Da das Ergebnis unzureichend war, habe ich mich zudem mit Wolf Scheuermann¹ in Verbindung gesetzt, der vor einigen Jahren Experimente zum VINDSKIP™ durchgeführt hat und ein Interview geführt, das mir geholfen hat, meine Forschungsfrage zu beantworten, die wie folgt lautet:

Wie hängt die Windrichtung mit der Fortbewegung des VINDSKIP™ zusammen?

1 s. Anhang

II. Physikalische Grundlagen

Anstatt wie früher durch die eingeschränkten Technologien nur den Wind als Schubkraft nutzen zu können und eine eingeschränkte Fahrtmöglichkeit zu haben, da nur in Richtung Vorwind eine wirkliche Geschwindigkeit entstehen konnte³, wird heute in den meisten Fällen in der Schifffahrt das Prinzip des Auftriebs benutzt. Dies ermöglicht den Schiffen die Fortbewegung in nahezu alle Richtungen und die Windrichtung wird weniger wichtig bis nahezu vernachlässigbar. Der Auftrieb ist die selbe Kraft, die es auch Flugzeugen ermöglicht, sich durch ihre Tragflächen in der Luft zu halten⁷.

Im Folgenden werde ich die physikalischen Prinzipien der Auftriebskraft und ihren Nutzen für das VINDSKIP™ erläutern.

II.1 Auftrieb

Allgemein gilt nach Bernoulli, dass der Luftdruck sich mit Zunahme der Geschwindigkeit der Luftströmung verringert. Im Bezug auf das Segeln spielt dieser Druck die entscheidende Rolle bei der Fahrtaufnahme des Schiffes.

Die dem Wind zugewandte Luv-Seite nimmt durch die Wölbung des Segels, beziehungsweise die Form der Tragfläche eine geringere Fläche ein als die des Lees, der der Windrichtung abgewandten Seite. Durch den Streckenunterschied nimmt die Luft auf der Lee-Seite eine höhere Geschwindigkeit auf und erzeugt dadurch einen Druck, der geringer ist als auf der Luv Seite.

Um diesen Druckunterschied auszugleichen, muss sich das Segel bewegen, es wird also eine Kraft darauf ausgeübt (s. Abb. 1). Hierbei geht es nicht um die Drehbewegung eines Segels, sondern um die Bewegung des Schiffes, die über das feststehende Segel erzeugt wird. Die Kraft, die die Bewegung verursacht, wirkt senkrecht zur Segelstellung⁷.

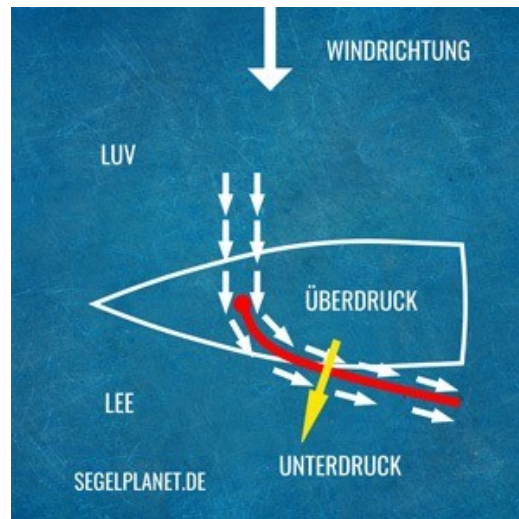


Abb. 1: Beispiel zur Krafteinwirkung des Windes auf das Segel

Ein anschauliches Beispiel kann man in Abb. 1 erkennen. Der Wind kommt in diesem Fall aus Norden, das Boot steht in einem 90°-Winkel zur Windrichtung und das Segel bildet mit diesem etwa einen 105°-Winkel. Es bildet sich ein Unterdruck auf der Lee- und ein Überdruck auf der Luv-Seite, durch die die Kraft erzeugt wird, die das Schiff nach vorne bewegen soll⁷.

II.2 Lateralplan

Das oben genannte Wirkungsprinzip würde dafür sorgen, dass sich das Boot ohne eine gegenwirkende Kraft je nach Fahrtwinkel gegen den Wind mehr oder weniger zur Wasseroberfläche neigen oder im schlimmsten Fall umkippen würde. Um dies zu vermeiden, hat das Boot unter der Wasseroberfläche den sogenannten Lateralplan. Der Lateralplan besteht aus dem gesamten Unterwasserschiff, wie z.B. dem Ruder und dem Kiel. Darüber wird ein Gegendruck erzeugt, die sogenannte Querkraft. Durch die Vereinigung dieser beiden Kräfte, des Auftriebs und des Lateraldrucks, wird das Schiff aufgerichtet und es entsteht eine Bewegung nach vorne⁷.



Abb. 2: Richtungen gegen den Wind, in die ein Segelschiff fahren kann

Dieser Effekt erlaubt Booten die Fahrt in nahezu alle Richtungen, mit Ausnahme der „No Go Zone“, auch „Im Wind“ genannt, die sich entgegen der Windrichtung 45° rechts und links befindet und unbefahrbar ist⁷.

II.3 Rückbezug auf das VINDSKIP™

Traditionellerweise wird die Vorwärtsbewegung eines Schiffes von den Segeln übernommen, was sich bei der Technik des VINDSKIP™ jedoch verändert. In diesem Fall ist es so, dass der Körper des Frachters so gebaut ist, dass er die Form des Querschnitts einer Flugzeugtragfläche hat, die hochkant auf dem Wasser aufliegt.

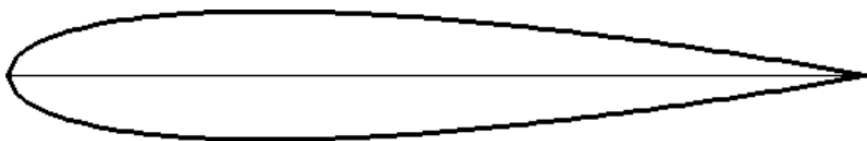


Figure 1: Symmetrical airfoil NACA0015.

Abb. 3: Körper des VINDSKIP™ Querschnitt

Die Proportionen entsprechen hierbei der tatsächlichen Tragfläche, skaliert auf die geplante Größe des Schiffes mit 30 Metern Höhe und 200 Metern Länge⁴. Dadurch wirkt der gesamte Rumpf des Schiffes als Segel.

II.4 Wahrer und scheinbarer Wind

Ein weiterer wichtiger Faktor, der bei der Fortbewegung berücksichtigt werden muss, ist die Unterscheidung des wahren und des scheinbaren Windes. Als wahren Wind bezeichnet man den an Land im unbewegten Zustand gemessenen Luftstrom. Scheinbarer oder auch relativer Wind ist diejenige Luftströmung, die man an Bord des Schiffes spürt und sich aus dem wahren Wind und dem Fahrtwind ergibt. Den wahren Wind kann man also an Bord eines Frachters weder spüren noch messen und muss ihn somit berechnen⁶.

Die Formel hierfür lautet

$$a^2 = (b+c)^2 - 4*b*c*\cos^2(a/2)$$

a: wahrer Wind

b: scheinbare Windstärke

c: Fahrtwindstärke

α : Winkel zwischen Fahrtwind- und scheinbarer Windrichtung³.

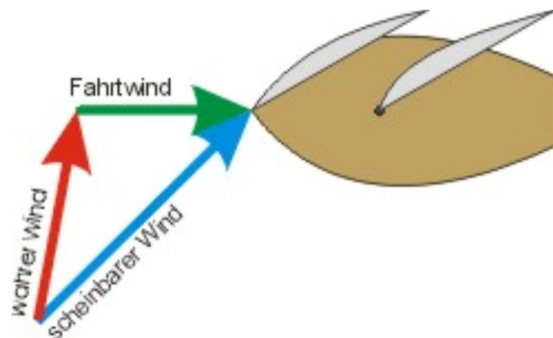


Abb. 4: Ausrichtung der Segel nach dem scheinbaren Wind

Um ein Schiff zu beschleunigen und in Fahrt zu halten, muss immer der scheinbare Wind als ausschlaggebendes Parameter benutzt werden und das Segel nach diesem ausgerichtet werden⁷.

Da das VINDSKIPTM keine extern angebrachten Segel an Bord hat, sondern selbst als solches dient, stelle ich die Hypothese auf, dass der Frachter in jeder Situation gegen den relativen Wind fahren muss, um die Vorwärtskraft zu erzeugen, die die Geschwindigkeit aufrecht erhält².

III. Formanalyse des VINDSKIP™

Ein essenzieller Faktor der Effektivität des VINDSKIP™ ist, wie bereits im vorherigen Kapitel angesprochen, die Form. Diese kann für eine detailliertere Betrachtung in zwei Teile, das Überwasser- und das Unterwasserschiff unterteilt werden. Beim VINDSKIP™, das ein einzigartiges Überwasserschiff besitzt, übernehmen beide Parteien unterschiedliche Aufgaben.

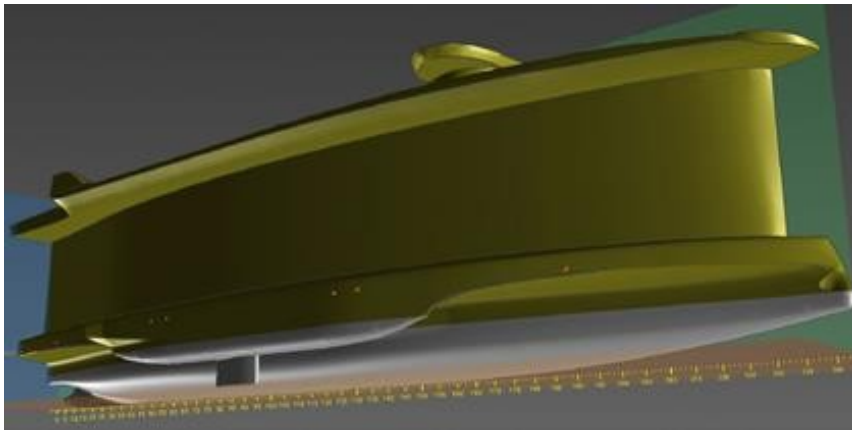


Abb. 5: Computererzeugtes Modell des VINDSKIP™

Während der Fokus in der Historie der Segelfahrt auf dem Unterwasserschiff und dessen Verbesserung lag, hat das Entwicklungsteam des VINDSKIP™ sich auf das Überwasserschiff und dessen bestmöglichen Einsatz konzentriert, da das Unterwasserschiff in seiner Entwicklung schon weit vorangeschritten war. Im Gegensatz zu herkömmlichen Segelschiffen wie z.B. der Gorch Fock, ist der Teil des Schiffes, der über das Wasser hinausragt, dafür designed, zusätzlichen Antrieb zu erzeugen und den Widerstand durch den Wind so gering wie möglich zu halten. Auch andere neuzeitige Schiffe, die den Wind als Antrieb nutzen, können nicht mit dem Modell konkurrieren, da sie trotz aller Entwicklung konventionelle Segel nutzen, die sich schlecht für Frachtschiffe eignen, die die Ladung auf ihrem Deck transportieren. Zudem ist bei diesen die durchgängige Veränderung der Windrichtung ein Faktor, der viel Aufwand bei der Ausrichtung der Segel in die richtige Stellung hervorruft. Dieser Aufwand ist bei dem VINDSKIP™ zu vernachlässigen, da der Körper des Schiffes keine Anpassung braucht und somit keine additionalen technischen Vorrichtungen für diesen Zweck benötigt werden. Für das VINDSKIP™ ist zudem die symmetrische Form essenziell, da der Körper als Segel nicht mobil ist und somit nicht zum Wind ausgerichtet wird, dieser allerdings trotzdem aus allen Richtungen kommen kann.

Auch das Oberdeck spielt eine entscheidende Rolle, da es verhindert, dass die Luft von der Lee- auf die Luv-Seite des Schiffs überströmt, was Luftverwirbelungen stoppt und die Kraft des Auftriebs optimal nutzbar macht.

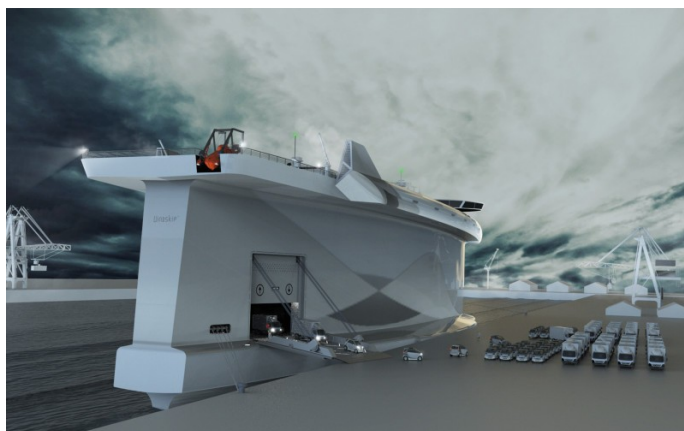


Abb. 6: Modell des VINDSKIP™ in einem Hafen

Jedoch wurde für dieses Prinzip nicht nur das Überwasser- sondern auch Unterwasserschiff optimiert und auf den oberen Teil des VINDSKIP™ angepasst. Hierfür wurde die Gefahr des Abdriftens des Schiffs minimiert und der Ruderausschlag so gering wie möglich gehalten, was für eine optimale Fortbewegung und mehr Effektivität sorgt.

Wie bei den meisten neueren Innovationen gibt es auch hier einige Einwände, die angebracht werden könnten, die jedoch größtenteils entkräftet werden können. Das VINDSKIP™ ist nicht wie andere Segelschiffe extrem wartungsaufwendig, da das Überwasserschiff als Segel dient und so keine zusätzliche Wartung außerhalb der standardisierten Tests benötigt sind. Auch das Argument, dass man die Segel bei Unwetter nicht einholen kann, ist nicht schlagkräftig, da die Maße des VINDSKIP™ vergleichbar mit herkömmlichen Frachtern sind, bei denen dies auch nicht möglich ist.

IV. Experiment zur Hilfe der Beantwortung der Forschungsfrage

Zur Unterstützung meiner These und der Beantwortung der Forschungsfrage dieser Seminararbeit wurde ein Experiment geplant, welches in den Räumlichkeiten des Lise-Meitner-Gymnasiums Unterhaching durchgeführt werden konnte.

Das Ziel hierbei war in zwei Bereiche geteilt, die auch in der Forschungsfrage schon genannt wurden. Zunächst sollte die Effektivität der Form des Schiffes im Gegensatz zu anderen Schiffskörpern aufgezeigt und experimentell bewiesen werden, und im weiteren Verlauf der ideale Einfallswinkel des Windes auf das VINDSKIP™ herausgefunden werden. Dieser sollte zur höchsten Kraftzunahme und dadurch höchstmöglichen Geschwindigkeit des Schiffes führen.

IV.1 Aufbau

Der Grundbau des Experiments war eine Luftkissenbahn mit dafür passenden Gleiterschiffchen, auf denen Modelle des VINDSKIP™ und weitere Modellformen (s. Abb. 7 und 8) installiert wurden.

Mithilfe eines mit dem VINDSKIP™ vergleichbaren Schiffes, der Maersk Wind, die auch von Wolf Scheuermann als Vergleichsmodell genutzt wurde, und den Maßen des für die Luftkissenbahn gemachten Gleiters habe ich den Maßstab für die von mir zum experimentieren genutzten Modelle berechnet. Von diesem Maßstab konnten alle weiteren Maße abgeleitet werden, die für den Bau der Modelle benötigt wurden.

Für den ersten Durchgang des Versuchs habe ich zwei Modelle aus Pappe erstellt, die sich in den Maßen ähneln, jedoch in der Form stark variieren. Modell 1 (M1) wurde nach der bereits in den physikalischen Grundlagen genannten Form des Segelkörpers des VINDSKIP™ konzipiert, um dieses so genau wie möglich nachzubilden, Modell 2 (M2) ist hingegen einem einfachen Quader nachempfunden. Durch diesen Unterschied sollte die Differenz zwischen dem VINDSKIP™ und einem üblichen Frachter ohne Segelkörper nachgestellt werden.

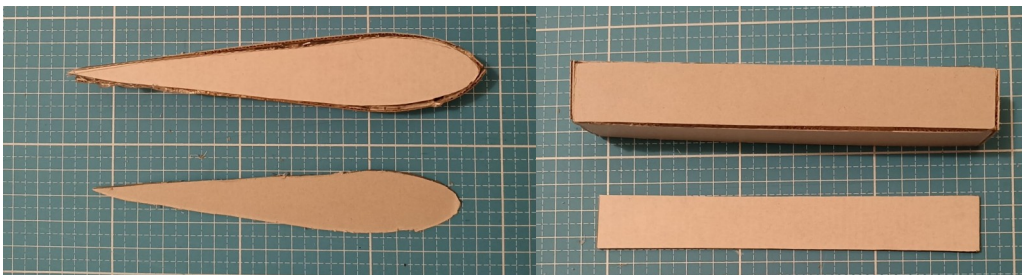


Abb. 7: Modell 1 (links) und Modell 2 (rechts)

Beide Modelle wurden anschließend auf einem Gleiter der Luftkissenbahn montiert und mit einer Schlaufe ausgestattet, in die das Kraftmessgerät eingehakt werden konnte, das die Kraft, die auf das jeweilige Modell ausgeübt wurde, maß.

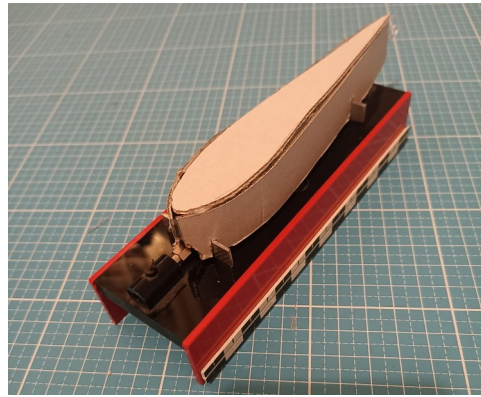


Abb. 8: Modell 1 auf Gleiterschiffchen

Als Windsimulation wurden zwei unterschiedliche Quellen verwendet, die im Laufe des Experiments ausgetauscht wurden. Die erste war hierbei ein Ventilator, der auf einem Schraubtisch aufgestellt wurde, um ihn so in verschiedenen Winkeln auf die Luftkissenbahn ausrichten zu können und so die verschiedenen Windrichtungen auf offener See zu simulieren. Als zweite Windquelle wurde ein handelsüblicher Fön verwendet, der an einem Stativ befestigt und an demselben Orten wie der Ventilator platziert wurde.

IV.2 Durchführung

Für die erste Durchführung des Versuches wurden ein Ventilator und ein manueller Kraftmesser mit einer Skala von 1 bis 5 Newton verwendet. Die Modelle wurden nacheinander mithilfe des Gleiters auf der Luftkissenbahn platziert und mit einer Windkraftquelle aus variierenden Winkeln angestrahlt.

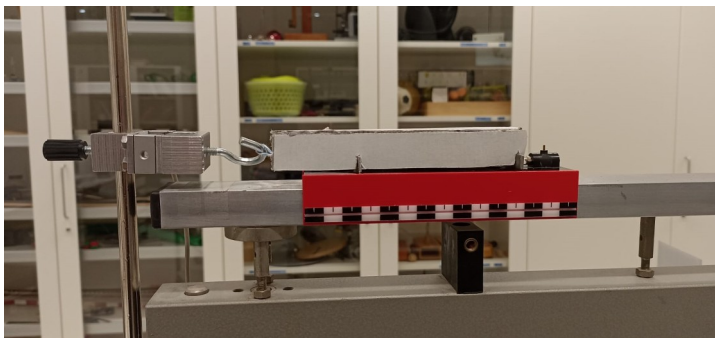


Abb. 9: Gleiterschiffchen mit Modell 1 auf Luftkissenbahn

Das Ergebnis hierbei war jedoch ernüchternd, denn der Kraftmesser zeigte keine Veränderung der Kraft an und sowohl Modell 1 als auch Modell 2 bewegten sich ohne den angeschlossenen Messer nur langsam. Die daraus gewonnene Erkenntnis war, dass die Luftzufuhr des Ventilators nicht stark genug war, um eine ausreichende Kraft auf die Schiffe auszuüben und somit eine stärkere Windquelle genutzt werden musste.

Der zweite Versuch wurde mit einem nahezu identischen Aufbau durchgeführt, mit dem Unterschied, dass der Ventilator durch einen Fön ausgetauscht wurde.

Der Kraftmesser zeigte allerdings auch hier keine Kraft an, die Modelle bewegten sich jedoch schneller auf der Bahn voran, allerdings bewegte sich Modell 1 nicht schneller als Modell 2, was die Annahme, dass die Form des VINDSKIP™ effektiver ist, noch nicht bekräftigte. Darüber hinaus bewegte sich auch das Gleiterschiffchen ohne ein Modell nicht langsamer als mit den Schiffen darauf montiert.

Aus dieser Beobachtung ließen sich sowohl eine Erkenntnis und als auch ein Problem feststellen: Die Kraft, die auf den Kraftmesser ausgeübt wurde, war nicht groß genug, um von einem manuellen Kraftmesser gemessen zu werden, ferner kippte der Gleiter bei Winkeln, die gegen 90° gingen, was dazu führte, dass er sich nicht weiter bewegte. Hierfür gab es keine Lösung, wodurch nicht mehr alle Winkel gemessen werden konnten.

Um die Kraft zu erhöhen bzw. besser messbar zu machen, gab es zwei Faktoren, die verändert werden konnten. Zum einen wurde ein neues Modell, Modell 3, eingeführt, das mit einem vergrößerten Höhenmaß in der selben Form wie Modell 1 gebaut wurde, in der Annahme, so den Luftwiderstand vergrößern zu können. Zudem wurde der manuelle Kraftmesser durch einen elektronischen ausgetauscht, der mit dem Computerprogramm CASSY verbunden auch kleinste Änderungen in der Kraft dokumentieren konnte.

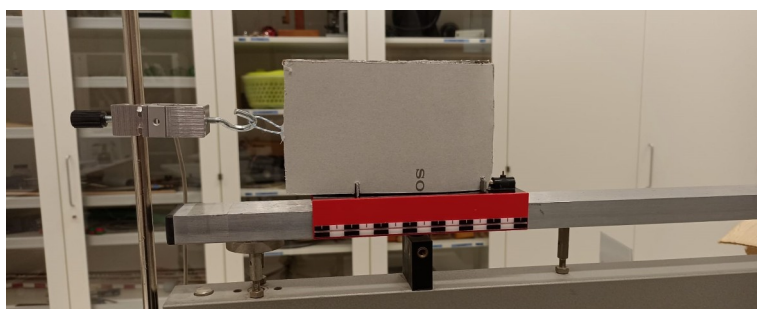


Abb. 10: Modell 3 auf Luftkissenbahn

Bei diesem Versuch wurden nacheinander Modell 1, 2 und 3 angeschlossen und mit dem Fön aus verschiedenen Winkeln getroffen.

Messbar waren bei dieser Durchführung Veränderungen im Bereich von 0,03 N bis 0,1 N bei Anschalten des Föns und Ausrichten dessens auf die Modelle. Jedoch waren auch hier keine Unterschiede in der Kraft zwischen den einzelnen Modellen erkennbar, weswegen die These, dass bei Vergrößerung der Höhe des Modells der Luftwiderstand die Kraft steigert, entkräftet wurde. Zudem wurde erkennbar, dass bei Modell 3 die Gefahr des Kippens noch stärker anstieg, was es schwieriger machte, möglichst viele Winkel der Bewindung zu testen. Auch sah man, dass die Kraft zwischen verschiedenen Winkeln nicht unterscheidbar war, woraus sich schließen ließ, dass entweder die Messungen zu ungenau waren, oder die Kraft bei allen Winkeln ähnlich hoch ist.

IV.3 Fehleranalyse

Bei diesem Experiment gab es verschiedene, teilweise unvermeidbare Fehlerquellen. Zunächst ist es möglich, dass die Modelle zu klein waren, um sinnvolle Ergebnisse zu bekommen. Der Wind hat bei Schiffen dieser Modellgröße nicht die Fläche, um die Kräfte, die für die Fortbewegung benötigt werden, tatsächlich wirken zu lassen und diese können somit nur erschwert gemessen werden.

Die Windquellen sind die zweite Stelle, an der Fehler entstehen können. Zum einen war nicht messbar, aus welchem Winkel der Wind genau auf das Modell eintrifft, zum anderen ist unsicher, ob die Kraft der Luft aus dem Fön tatsächlich hoch genug war. Hätte man einen stärkeren Luftzug gehabt, hätten höhere Kräfte messbar sein können.

Ein bereits erwähntes Problem war das Kippen des Schiffes, was allerdings durch die Beschaffenheit der Luftkissenbahn nicht verhinderbar war und somit hingenommen werden muss.

Letztendlich sind auch Messfehler immer ein vitales Problem bei Experimenten. Vor allem das Austauschen der Modelle während Messungen, was jedes Mal einen kurzen Kraftimpuls herbeiführte, kann zu Ungenauigkeiten führen und dadurch das Ergebnis verfälschen. Da es hier jedoch aufgrund der generell geringen Kraftänderungen gut erkennbar ist, an welchen Zeitpunkten die Modelle ausgetauscht wurden, ist diese Fehlerquelle vernachlässigbar.

Durch das Interview mit Wolf Scheuermann ist das eigentliche Problem klar geworden, das bei meinem Modell nicht berücksichtigt wurde und auch nicht hätte gelöst werden können. Um Modell 1 mit dem VINDSKIP™ vergleichbar zu machen, muss die Reynoldszahl berücksichtigt werden. Diese Zahl muss bei verglichenen Modellen gleich sein, da ohne sie die Strömungen dieser nicht gleich sind und das Modell somit keine vergleichbaren Werte liefern kann. Da ich die Modelle nur im Maßstab nachgebaut habe, hätten für eine übereinstimmende Reynoldszahl, die in diesem Fall einen Wert von $Re=200 \cdot 10^6$ besitzt, Windgeschwindigkeiten von 37000 Knoten, also 68524 km/h vorhanden sein müssen, was die 62-fache Schallgeschwindigkeit beträgt und somit unmöglich von einem Föhn hätte erzeugt werden können.

V. Der Strömungswinkel

Das Experiment wurde unter der Annahme, es gäbe einen idealen Einfallswinkel des Windes auf das Schiff, was in der höchstmöglichen Geschwindigkeit resultieren würde, durchgeführt. Durch das Interview mit Wolf Scheuermann konnte dies, sowie die Annahme, es müsse immer gegen den scheinbaren Wind fahren, widerlegt werden. Bei der Fahrt des VINDSKIP™ bilden sich die Auftriebs- und Widerstandskraft ausgehend von der Windrichtung und nicht wie zunächst vermutet vom Profil des Schiffes.

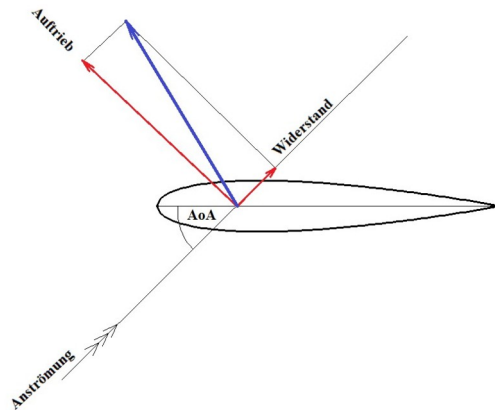


Abb. 11: Kraftverhältnis zwischen Auftrieb und Widerstand

Ist der Anströmungswinkel auf das Schiff (AoA oder Angle of Attack) gering, so ist die Auftriebskraft deutlich höher als die des Widerstands, vergrößert sich der Winkel, so verändert sich das Verhältnis der Kräfte zueinander und der Widerstand wird größer. Allerdings ist festzustellen, dass die daraus resultierende Vortriebskraft auch bei höherer AoA meist mit identischer Größe in die gleiche Richtung zeigt, woraus resultiert, dass die Geschwindigkeit unabhängig vom Einfallswinkel größtenteils konstant bleibt. Somit kann das VINDSKIP™ bis zu 10° an den Wind fahren, ohne dass sich Verluste in Bezug auf Fahrlänge ergeben. Das Schiff wird durch diesen Kurs zwar langsamer, kann jedoch einfacher gegen den Wind kreuzen und dadurch eine kürzere Strecke mit weniger Manövern zurücklegen.

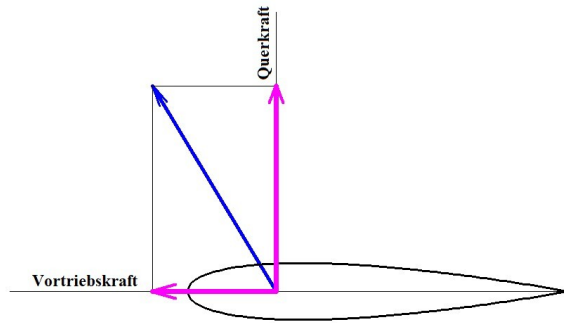


Abb. 12: Verhältnis der Vortriebskraft zur Querkraft

Zudem hat der Wind auf die Längs- bzw. die Querachse des Schiffes eine Auswirkung, die in zwei Kräften resultiert, der Vortriebskraft und der Querkraft. Die Windkraft beschleunigt das VINDSKIP™ so lange, bis die Widerstandskraft komplett aufgebaut ist, danach bleibt sie konstant. Trotz der Wirkung der Querkraft, die höher ist als die Vortriebskraft, kommt das Schiff voran. Dies liegt daran, dass das Unterwasserschiff sehr schmal, aber lang ist, wodurch die Kraft, die zum Abdriften benötigt wäre, größer ist als die, die es zur Vorwärtsbewegung braucht. Dadurch hält sich der Grad des Abdriftens in Grenzen, muss jedoch trotzdem in die Berechnungen mit einbezogen werden, da er einen Einfluss auf den Kurs des Schiffes hat.

Durch die von Scheuermann durchgeführten Berechnungen kann man letztendlich also sehen, dass die Geschwindigkeit nicht vom Strömungswinkel des Windes abhängig ist. Laut ihm beträgt die Höchstgeschwindigkeit des Schiffes unter reinem Windantrieb 6 Knoten, bei Einschalten des Motors muss der Fahrtwind einbezogen werden, der frontal auf das Schiff trifft, so den AoA verkleinert und somit die Geschwindigkeit nicht verändert. Da die Ergebnisse auf einer Simulation beruhen, muss man davon ausgehen, dass sie in der Wirklichkeit nur ca. 80% betragen, da sie mithilfe der benutzten Formeln unrealistisch sind und einige Faktoren nicht mit einbezogen wurden.

Hierbei könnte der Einwand vorgebracht werden, dass das VINDSKIP™ nicht direkt gegen den Wind fahren kann, jedoch hat das Schiff den Vorteil, dass es kreuzen kann. Zudem ist auch der Motor des Schiffes hochentwickelt und auf die Bedürfnisse angepasst, was es möglich macht, beim Kreuzen gegen den Wind zu fahren.

VI. Effektivität des VINDSKIP™

Das VINDSKIP™ ist nicht nur ein physikalisch interessantes Projekt, sondern auch in seiner Effektivität sehr hoch.

Die Geschwindigkeit des VINDSKIP™ liegt mit seinen 6 Knoten ohne zusätzlichen Maschinenantrieb etwa 9 Knoten unter der durchschnittlichen Geschwindigkeit eines Frachters, kann mit maschineller Unterstützung jedoch 15 oder mehr Knoten erreichen. Gleichzeitig spart es bis zu 60% des Treibstoffs ein, was zu hohen Kostenersparnissen in diesem Bereich führen würde.

Im Ausgleich dazu sind der Entwurf und Bau kostenaufwendiger, jedoch nicht in einem ausschlaggebenden Bereich.

Die Kapazität des VINDSKIP™ ist vergleichbar mit einem Standardfrachter. Hierbei ist es wichtig zu erwähnen, dass das VINDSKIP™ nicht wie andere Frachter eine Deckladung hat, sondern im Segelkörper beladen wird, um ein Kentern zu verhindern und somit nicht für den Containertransport verwendbar ist. Stattdessen kann es in Zukunft nicht nur als Autotransporter, auch als Passagier- oder Forschungsschiff verwendet werden.

Der laufende Betrieb des Schiffes erfordert keine zusätzlichen Personalaufwände hervor, abgesehen davon, dass die Steuerleute eine Segelqualifikation benötigen, um das Schiff lenken und leiten zu können.

VII. Fazit

VII.1 Beantwortung der Forschungsfrage

Zusammenfassend lassen sich einige Schlüsse aus meiner Arbeit ziehen.

Segelschiffe sind auch heute noch ein vielversprechendes Konzept für den Transport von Frachten und Gütern. Das VINDSKIP™ ist hierbei durch seine herausstechende Form besonders geeignet für den Transport von Autos und LKWs, könnte in der Zukunft jedoch z.B. auch als Kreuzfahrtschiff genutzt werden. Die Geschwindigkeit, die das Schiff aufbringen kann, hängt hier jedoch nur teilweise mit dem Kurs, den es einschlägt zusammen, da es durch seine symmetrische Form große Vorteile beim Kreuzen und gegen den Wind Steuern hat. Es hat sich herausgestellt, dass das VINDSKIP™ nicht nur mit dem scheinbaren Wind fahren kann, sondern bis zu 10° an den Wind.

Das Experiment, das vorerst für die Beantwortung der Forschungsfrage geplant war, ist an der Nichtbeachtung der Reynolds-Zahl und den nicht vorhandenen Möglichkeiten, diese zu berücksichtigen gescheitert.

Durch das Interview mit Wolf Scheuermann kann man schlussendlich die Forschungsfrage „Wie hängt die Windrichtung mit der Fortbewegung des VINDSKIP™ zusammen?“ beantworten. Die Richtung, aus welcher der Wind auf das Schiff trifft, hat keinen maßgeblichen Einfluss auf die Fortbewegung und Geschwindigkeit des Schiffes, da das Verhältnis der Auftriebskraft und Gegenkraft unabhängig von der Windrichtung auf das VINDSKIP™ wirkt.

VII.2 Ausblick über weitere Forschungsmöglichkeiten

Da das VINDSKIP™ ein noch größtenteils unangetastetes Projekt ist, gibt es viele Möglichkeiten, weiter daran zu arbeiten. Eine Möglichkeit wäre, den Motor genauer zu untersuchen und daran zu experimentieren, da dieser ein wichtiger Bestandteil der Nachhaltigkeit und Klimafreundlichkeit des Schiffes ist. Außerdem kann man den wirtschaftlichen Teil des Schiffes und dessen Einsatzmöglichkeiten außerhalb des Autotransports erforschen.

VIII. Literaturverzeichnis

- ¹ Frauenberger, Magdalena (2021): Klimabilanz Containerschiffe: mehr als nur eine CO2-Schleuder <https://fridaysforfuture.at/blog/klimabilanz-containerschiffe-co2-schadstoffe-schwermetalle-347373> (Stand: 22.06.2023)
- ² International Windship Association (Hrsg., Datum unbekannt): Vindskip™ – Lade AS – IWSA Member <https://www.wind-ship.org/en/vindskip/> (Stand: 22.06.2023)
- ³ Maissen, Gerry/Schumann, Nadine/Motzki, Hermann (2015): Die Geschichte des Segelns <https://www.boat-engines.eu/die-geschichte-des-segelns-1/> (Stand: 12.11.2022)
- ⁴ Scheuermann, Wolf (2016): Fluid-Dynamic of the VINDSKIP™ https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53005357/Vindskip-libre.pdf?1493976460=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DFluid_Dynamic_of_the_VINDSKIP_TM.pdf&Expires=1681480269&Signature=LsV9zxMFJ8XpwhuQsIkwb1dpf6e1patDwlmiwXyGTM2S-S8c~HSqd8hg1tO7AVAKYE25jDsa3DfseS~ye60jPTUwMmsAWYlqoicdO4IQ63wtKUCxNln0gq16VD6eaxwsEt6Yz2QZVWCd1Ypj4OjR5ve22yh2auERbZ6D9sk0yr3xz~6tAp6CBUsmxkn6azE8a8aAls~SipXGR99Rj9dMEn1e5pjXdLf1jdyc2L8L~yQSjeNdiwhy58~H8i7-7YKD-ByQbNijTzTZfQlio8Q8heYVCEDfYUC4a6BWU1hvhDzHNZ~PakLJHo~d5qrZFFa~4~-0GlxF8aFmi6C45OPnA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA (Stand: 15.04.2023)
- ⁵ statista (2022): CO2-Emissionen: Größte Länder nach Anteil am weltweiten CO2-Ausstoß im Jahr 2021 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/179260/umfrage/die-zehn-groessten-co2-emittenten-weltweit/> (Stand: 22.06.2023)
- ⁶ Stumpe, Rainer (2018): Der wahre und der scheinbare Wind <https://www.rainerstumpe.de/HTML/wind02.html> (Stand: 30.10.2023)
- ⁷ Tom (2018): SEGELN – WIE GEHT DAS? <https://segelplanet.de/segeln-wie-geht-das/> (Stand 22.06.2022)

IX. Abbildungsverzeichnis

Titelblatt: Brindusescu, Gabriel (2015): Vindskip Concept Bringing Back Old Wind-Powered Boat Travel <https://www.autoevolution.com/news/vindskip-concept-bringing-back-old-wind-powered-boat-travel-video-90915.html> (Stand: 30.10.2023)

Abb. 1: Tom (2018): SEGELN – WIE GEHT DAS? <https://segelplanet.de/segeln-wie-geht-das/> (Stand 12.11.2022)

Abb.2: Tom (2018): SEGELN – WIE GEHT DAS? <https://segelplanet.de/segeln-wie-geht-das/> (Stand 12.11.2022)

Abb. 3: Scheuermann, Wolf (2016): Fluid-Dynamic of the VINDSKIP™ [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53005357/Vindskip-libre.pdf?1493976460=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DFluid_Dynamic_of_the_VINDSKIP_TM.pdf&Expires=1681480269&Signature=LsV9zxMFJ8XpwhuQslkwb1dpf6e1patDwlmiwXyGTM2S-S8c~HSqd8hg1tO7AVAKYE25jDsa3DfseS~ye60jPTUwMmsAWYlqoicdO4IQ63wtKUCxNln0gq16VD6eaxwsEt6Yz2QZVWCd1Ypj4OjR5ve22yh2auERbZ6D9sk0yr3xz~6tAp6CBUsmxkn6azE8a8aAls~SipXGR99Rj9dMEn1e5pjXdLf1jdyc2L8L~yQSjeNdiwhy58~H8i7-7YKD-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53005357/Vindskip-libre.pdf?1493976460=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DFluid_Dynamic_of_the_VINDSKIP_TM.pdf&Expires=1681480269&Signature=LsV9zxMFJ8XpwhuQslkwb1dpf6e1patDwlmiwXyGTM2S-S8c~HSqd8hg1tO7AVAKYE25jDsa3DfseS~ye60jPTUwMmsAWYlqoicdO4IQ63wtKUCxNln0gq16VD6eaxwsEt6Yz2QZVWCd1Ypj4OjR5ve22yh2auERbZ6D9sk0yr3xz~6tAp6CBUsmxkn6azE8a8aAls~SipXGR99Rj9dMEn1e5pjXdLf1jdyc2L8L~yQSjeNdiwhy58~H8i7-7YKD-ByQbNijTzTZfQlio8Q8heYVCEDfYUC4a6BWU1hvhDzHNZ~PakLJHo~d5qrZFFa~4~-0GlxF8aFmi6C45OPnA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

1493976460=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DFluid_Dynamic_of_the_VINDSKIP_TM.pdf&Expires=1681480269&Signature=LsV9zxMFJ8XpwhuQslkwb1dpf6e1patDwlmiwXyGTM2S-

S8c~HSqd8hg1tO7AVAKYE25jDsa3DfseS~ye60jPTUwMmsAWYlqoicdO4IQ63wtKUCxNln0gq16VD6eaxwsEt6Yz2QZVWCd1Ypj4OjR5ve22yh2auERbZ6D9sk0yr3xz~6tAp6CBUsmxkn6azE8a8aAls~SipXGR99Rj9dMEn1e5pjXdLf1jdyc2L8L~yQSjeNdiwhy58~H8i7-7YKD-

ByQbNijTzTZfQlio8Q8heYVCEDfYUC4a6BWU1hvhDzHNZ~PakLJHo~d5qrZFFa~4~-0GlxF8aFmi6C45OPnA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

(Stand: 15.04.2023)

Abb. 4: Stumpe, Rainer (2018): Der wahre und der scheinbare Wind <https://www.rainerstumpe.de/HTML/wind02.html> (Stand: 30.10.2023)

Abb. 5: VINDSKIP™ (Hrsg., Datum unbekannt): <https://vindskip.no/sustainable-ocean-transport-of-automotives/> (Stand: 30.10.2023)

Abb. 6: VINDSKIP™ (Hrsg., Datum unbekannt): <https://vindskip.no/sustainable-ocean-transport-of-automotives/> (Stand: 30.10.2023)

X. Anhang

Mein Gesprächspartner für das Interview, das per Mail durchgeführt wurde, war Wolf Scheuermann. Er ist 1955 geboren und hat die Schule im Jahr 1973 mit dem Abitur abgeschlossen. Darauf folgend begann er sein Studium der Mathematik und Physik an der Universität Kaiserslautern. Nach einer Ausbildung zum Matrosen studierte er Seefahrt an der Seefahrtschule (Fachhochschule) in Hamburg, wodurch er seinen Titel als Diplom-Wirtschafts-Ingenieur für Seeverkehr und ein Nautisches Patent erlangte. In den darauffolgenden Jahren seines Berufslebens arbeitete Scheuermann als Kapitän und Steuermann bei verschiedenen Reedereien und entwickelte zudem eine elektronische Seekarte bei SevenCs GmbH Hamburg mit. Die Seefahrt ist jedoch nicht seine einzige Leidenschaft, was am letzten Abschnitt seines Berufslebens deutlich wird. Er arbeitete von 1998 bis 2015 als Theorielehrer für Flugnavigation in der Verkehrsfliegerschule der Lufthansa (LFT Bremen), wobei er nebenbei die Privatpilotenlizenz machte. Seit 2015 widmet er sich in der Rente ganz seinen Hobbies, die unter anderem Kapitän und Steuermann auf Traditionsseglern beinhalten. Darüber hinaus beschäftigt er sich mit der Theorie des VINDSKIP™.

Erklärung:

Die/Der Unterzeichnete versichert, dass sie/er die vorliegende Seminararbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von ihr/ihm angegebenen Hilfsmittel benutzt hat. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen sind, wurden in jedem Fall unter Angabe der Quellen (einschließlich des World Wide Web und anderer elektronischer Text- und Datensammlungen) kenntlich gemacht. Dies gilt auch für beigegebene Zeichnungen, bildliche Darstellungen, Skizzen und dergleichen.

Ort, Datum

Unterschrift