

Weiterentwicklung der Bildungsstandards in der Sekundarstufe I in den Naturwissenschaften

Illustrierende Lernaufgabe für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Mechanische Leistung des Menschen

Diese Aufgabe wurde von Fachexpertinnen und Fachexperten der Länder, überwiegend Lehrkräften, entwickelt. Die Aufgabenentwicklungsgruppe wurde von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Fachdidaktik Physik beraten. Das Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen hat den Prozess koordiniert.

Zusammenfassung:

Anhand von menschlichen Rekorden wiederholen die Lernenden das benötigte Vorwissen im Bereich Mechanik (Energie, Leistung). Daran anknüpfend planen sie ein Experiment (z. B. Treppensteigen, Ergometer, u. a.) zur Bestimmung der mechanischen Leistung von Menschen und führen es in Kleingruppen durch. Abschließend vergleichen sie ihre eigenen mechanischen Leistungen mit den Leistungen bei den anfangs betrachteten Rekorden, wobei sie erkennen, dass die mechanische Leistung nicht nur vom Trainingszustand, sondern auch von der Masse und der Dauer der Belastung abhängt.

Kompetenzbereiche und relevante Standards	Sachkompetenz <i>Die Lernenden ...</i> S 1.2 beschreiben einfache Modelle, deren Aussage- und Vorhersagemöglichkeiten sowie deren Grenzen. S 2.1 bauen einfache Versuchsanordnungen auch unter Verwendung von digitalen Messwerterfassungssystemen nach Anleitungen auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre Beobachtungen. S 2.3 wenden bekannte Auswerteverfahren auf Messergebnisse an. S 2.4 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Fragestellungen und Probleme an.
--	---

[illegible]

1 Aufgabe

Teilaufgabe 1: Rekorde und menschliche Leistungsfähigkeit

Entscheidet bei den folgenden Situationen, ob die Personen hauptsächlich mechanische Leistungen erbracht haben oder eine andere Leistung im Vordergrund steht. Berechnet die mechanische Leistung bei den Situationen, in denen hauptsächlich eine mechanische Leistung erbracht wurde.

- Der Australier Paul Crake (ca. 65 kg) stieg im Jahr 2003 die 1576 Stufen auf die 320 m hoch gelegene 86. Etage des Empire State Buildings innerhalb von neun Minuten und 33 Sekunden.
- Marco Pantani (Masse mit Fahrrad: 67 kg) stellte 1995 einen Rekord bei der Tour de France hinauf nach Alpe d'Huez auf: Er überwand die 1090 m Höhenunterschied auf dem 13,8 km langen Anstieg in 36 Minuten und 50 Sekunden.
- Die damals 47-jährige Finnin Johanna Nordblad stellte im März 2021 einen neuen Rekord im Eistauchen auf: Ohne Hilfsmittel und mit nur einem Atemzug tauchte sie eine Strecke von 103 m unter der Eisdecke des Öllöri-Sees entlang und brauchte dafür zwei Minuten und 42 Sekunden.
- Bei seinem Weltrekord bei der Weltmeisterschaft 2009 in Berlin über die 100 m erreichte Usain Bolt ($m = 94$ kg) etwa 40 m bzw. 4,64 s nach dem Start eine Spitzengeschwindigkeit von knapp 45 km/h.

Teilaufgabe 2: Experiment zur Bestimmung der mechanischen Leistung eines Menschen

- 2.1 Plant ein Experiment zur Bestimmung der eigenen mechanischen Leistung. Notiert auf dem Arbeitsblatt *Kleingruppenexperiment* (Material 1) das benötigte Material (2 Aufbau/Material) und die geplante Durchführung (3 Durchführung). Geht dabei insbesondere auf die zu messenden Größen und die verwendeten Messgeräte ein.
- 2.2 Messt für jede Person eurer Gruppe alle benötigten Werte und notiert sie auf dem Arbeitsblatt *Kleingruppenexperiment* (Material 1) im Bereich 4 Beobachtung/Messwerte.
- 2.3 Berechnet jeweils mit Hilfe eurer Messwerte die mechanische Leistung jeder Person der Gruppe und notiert sie bei 5 Auswertung/Ergebnis auf dem Arbeitsblatt *Kleingruppenexperiment* (Material 1).

Teilaufgabe 3: Interpretation und Übertragung auf Anwendungen

- 3.1 Vergleicht eure Ergebnisse innerhalb der Gruppe und mit den Ergebnissen der anderen Gruppen. Diskutiert dabei auch, ob die Ausgestaltung des Experiments einen Einfluss auf den ermittelten Leistungswert hat.
- 3.2 Berechnet sowohl für eure Ergebnisse als auch für die Situationen aus Teilaufgabe 1 die Leistung pro Körpermasse. Vergleicht die Werte miteinander und begründet Gemeinsamkeiten bzw. Abweichungen.

2 Material für Lernende

Material 1

Arbeitsblatt Kleingruppenexperiment

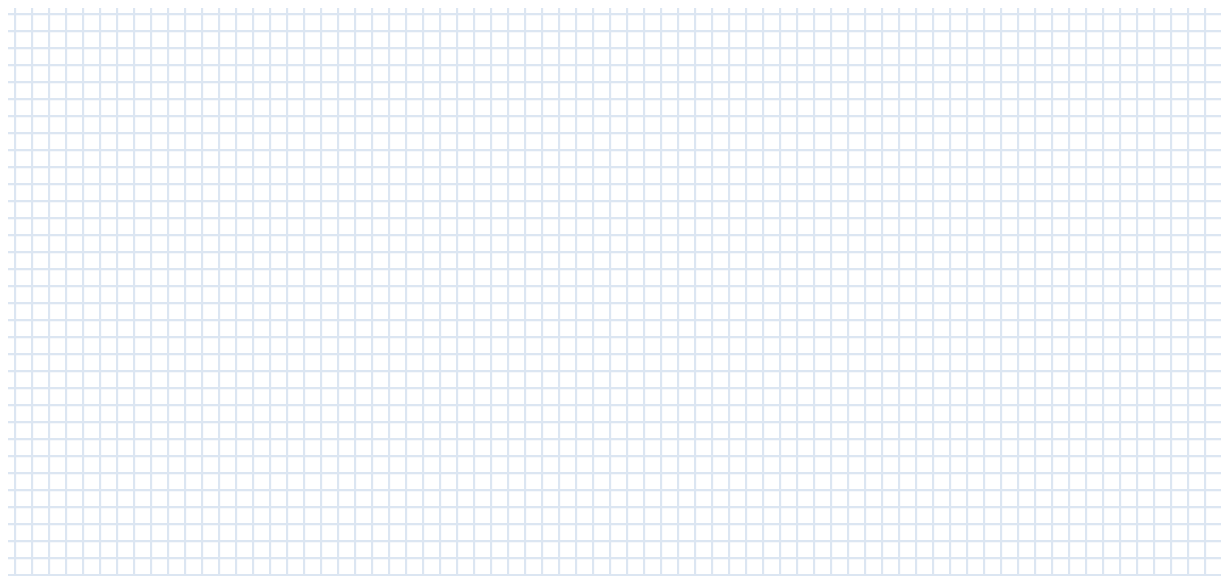
Name:

Ort/Datum:

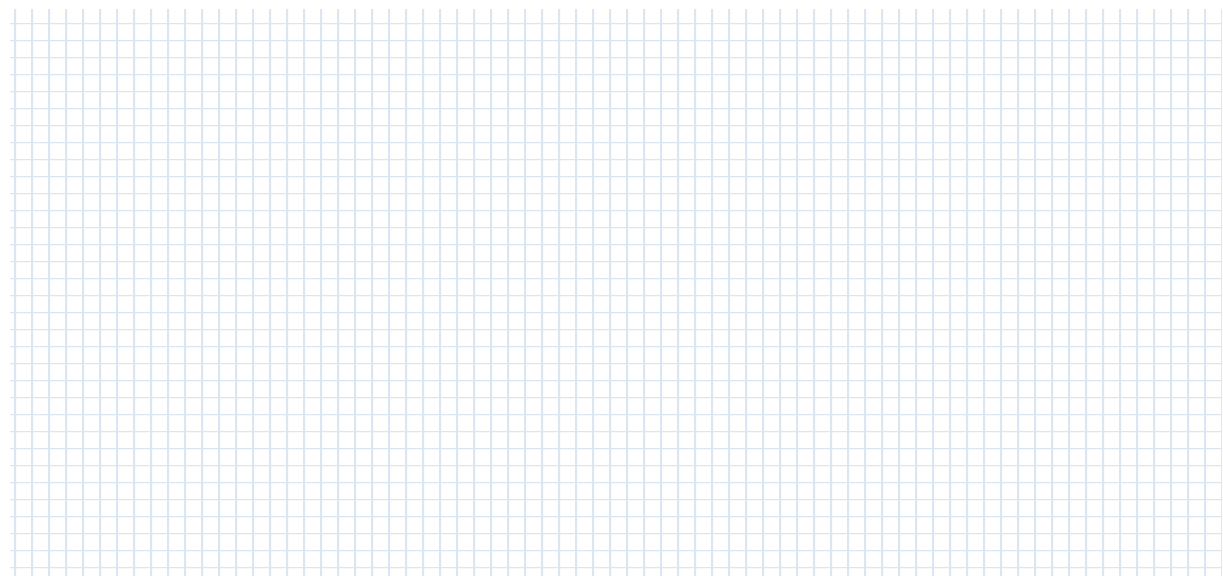
1 Ziel:

Bestimmung der eigenen menschlichen Leistung mit Hilfe eines selbstständig geplanten Experiments.

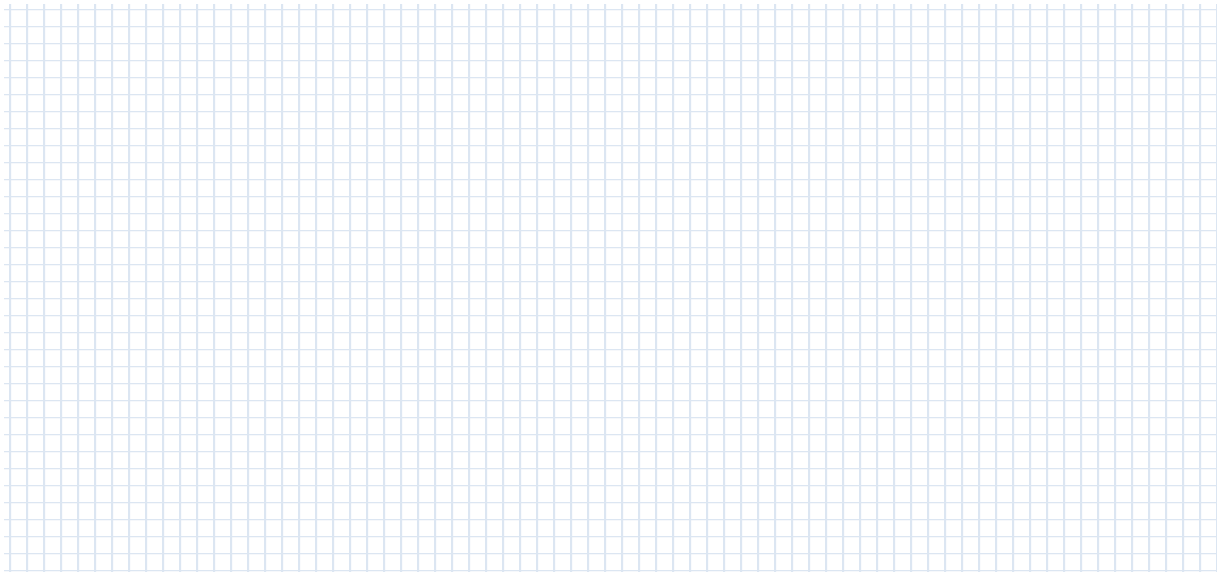
2 Aufbau/Material:



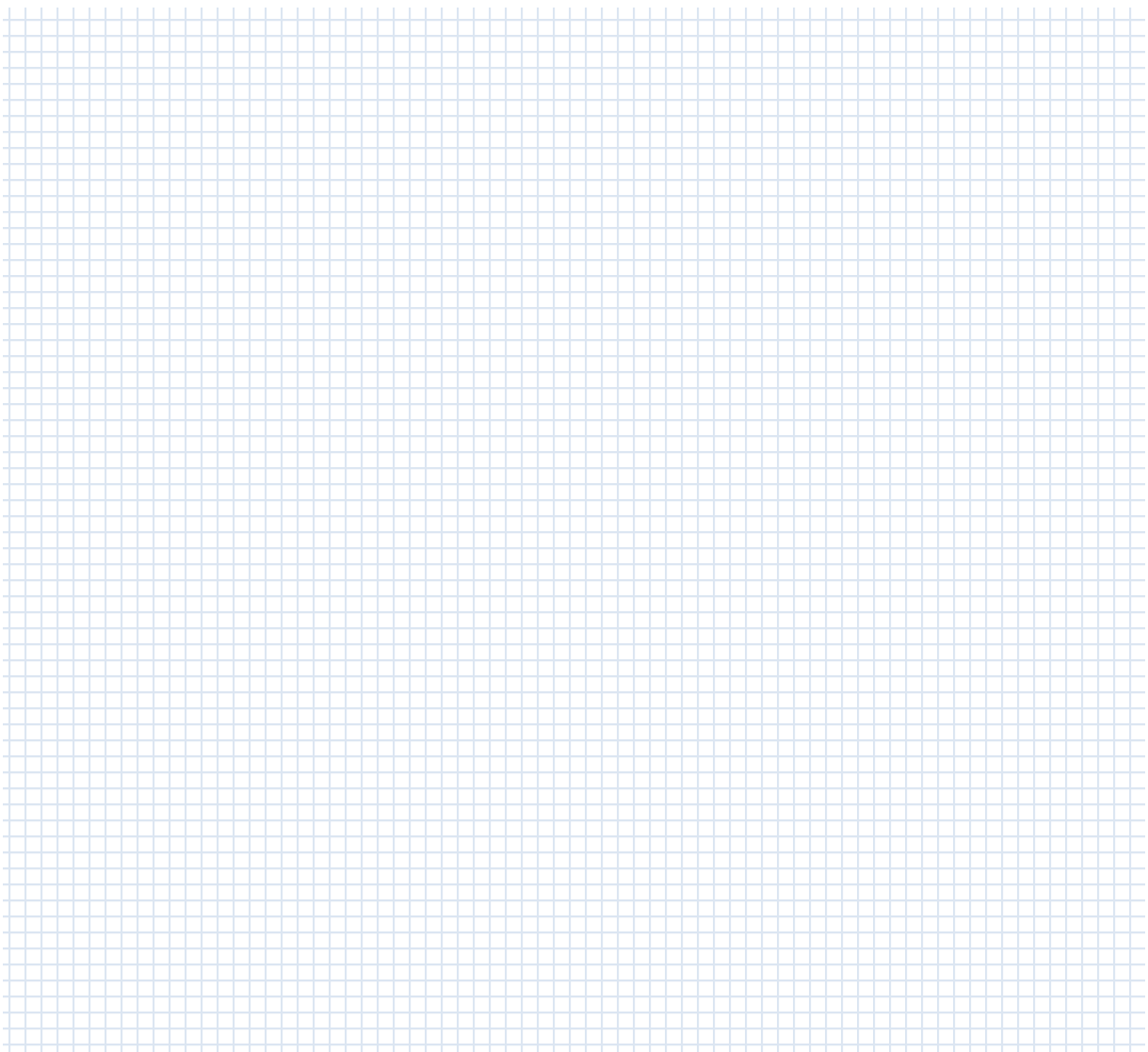
3 Durchführung:



4 Beobachtung/Messwerte:

A large grid of small squares, typically used for graphing or recording data. It consists of 20 columns and 20 rows of squares.

5 Auswertung/Ergebnis:

A large grid of small squares, typically used for graphing or recording data. It consists of 20 columns and 20 rows of squares.

3 Hinweise zur Durchführung

Zielsetzung

Ziel der Aufgabe ist es, dass die Lernenden aufbauend auf ihrem Vorwissen zur mechanischen Energie bzw. Leistung selbständig ein Experiment planen und durchführen, mit dem die mechanische Leistung eines Menschen (z. B. beim Treppensteigen) bestimmt werden kann. Die Aufgabe ist dabei in drei Teile untergliedert: Motivation sowie Wiederholung benötigter Grundlagen, Planung und Durchführung des Experiments mit Hilfe von Material 1, Interpretation und Reflexion der Erkenntnisse.

Didaktische Hinweise

Zunächst werden die Lernenden in Kleingruppen eingeteilt. Bewährt haben sich Gruppenstärken von etwa drei Personen, da dann alle etwas beitragen können und müssen.

In der ersten Teilaufgabe werden zunächst anhand von verschiedenen Rekorden die nötigen Grundkenntnisse zur Berechnung der mechanischen Leistung eines Menschen wiederholt (S 2.4). So gelingt ein motivierender Einstieg ins Thema und die Lernenden erhalten bereits an dieser Stelle verschiedene Anregungen, die sie als Ideen für mögliche Experimente in der folgenden Teilaufgabe weiterverfolgen können. Da der Begriff *Leistung* auch im Alltag Verwendung findet und sich der Alltagsbegriff vom Fachbegriff unterscheidet, ist es wichtig, dass sich die Lernenden des Unterschieds bewusst sind. Dies wird in der ersten Teilaufgabe ebenfalls aufgegriffen, indem die Lernenden die verschiedenen Rekordsituationen nach der Fragestellung, ob die mechanische Leistung beim jeweiligen Vorgang im Vordergrund steht, untersuchen sollen. Ihnen wird dabei bewusst, dass nicht jede menschliche Leistung (Alltagsbegriff) auch eine mechanische Leistung (Fachbegriff) bedeutet. Der Definition der Leistung folgend ist das entscheidende Kriterium, dass die mechanische Energie der Person verändert wird. Wie die beiden ersten Rekordsituationen (Treppensteigen, Bergfahrt eines Fahrrads) zeigen, ist dies insbesondere dann der Fall, wenn die Lageenergie der Person zunimmt. Die aufgelisteten Rekorde zeigen aber auch, dass es sich beim Sprintstart durch Änderung der kinetischen Energie ebenfalls um eine mechanische Leistung handelt. Vorsicht ist hingegen bei einer Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit gegeben: Hier hängt die Entscheidung davon ab, auf welche Definition der Leistung zurückgegriffen und wie tiefgehend die Betrachtung durchgeführt wird. Deshalb werden entsprechende Rekorde in der Aufgabenstellung bewusst vermieden. Wenn die Lernenden ähnliche Situationen aus dem vorherigen Unterricht kennen, kann man gegebenenfalls die Liste der Rekorde beispielsweise um den aktuellen Marathonweltrekord der Frauen (Tigist Assefa: 2:11:53 h am 24.09.2023 in Berlin) ergänzen. Insgesamt empfiehlt es sich, die genannten Rekorde auf Aktualität zu prüfen und evtl. an die Voraussetzungen an der Schule und an die einzelnen Lerngruppen anzupassen.

Planung

Da die Planung des Experiments direkt an die erste Teilaufgabe anschließt, ist davon auszugehen, dass viele Lernende entsprechende Situationen nachbilden wollen, um ihre persönliche Leistung zu bestimmen. Durch geschickte Vorauswahl der vorgegebenen Rekorde kann man die Lernenden sehr stark in eine gewünschte Richtung lenken. Im Sinne der zuvor bereits erwähnten Abgrenzung zwischen Alltags- und Fachbegriff sollte aber darauf geachtet werden, dass in der Rekordliste zumindest ein Beispiel aufgelistet ist, bei dem keine mechanische Leistung erbracht wird. In der vorliegenden Aufgabe ist dies der Rekord beim Eintauchen.

Außerdem empfiehlt es sich, die Liste nicht zu stark zu kürzen, sodass für die Lernenden auch mit den vor Ort verfügbaren Möglichkeiten verschiedene Varianten des Versuchs umsetzbar sind und eine eigenständige Planung, wie sie E 2.1 vorsieht, ermöglichen. Da es vermutlich an allen Schulen Treppenhäuser und eine ausreichend lange Strecke für einen Sprintstart gibt, sollten diese beiden Rekorde auch auf jeden Fall in der Aufgabenstellung erhalten bleiben. Über die Rekordliste hinaus sind aber abhängig von der Ausstattung der Schule auch viele weitere experimentelle Ausgestaltungen denkbar. So gibt es an manchen Schulen beispielsweise Fitnessräume mit Ergometern oder anderen Gerätschaften, die man zur Leistungsmessung heranziehen kann.

Eventuell haben auch einzelne Lernende die Idee, die Leistung durch das Tragen eines Gegenstands zu bestimmen. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass lediglich beim sehr kurzen Hebevorgang sowie beim Tragen in ein anderes Stockwerk die gewünschte mechanische Leistung im Vordergrund steht. Im ersten Fall ist die Zeitmessung in der Regel sehr schwierig und ungenau. Im zweiten Fall ist der getragene Gegenstand im Vergleich zur Personenmasse in der Regel vernachlässigbar oder es besteht eine unnötig hohe Verletzungsgefahr.

Bei Bedarf kann dies im Rahmen einer kurzen Plenumsphase nach Abschluss der Teilaufgabe 2.1 thematisiert werden. Dabei bietet es sich an, dass jede Kleingruppe ihre wesentliche Versuchsidee sowie die zur Messung benötigten Gerätschaften nennt und kurz erläutert. So kann die Klasse bzw. die Lehrkraft korrigierend eingreifen, die Anzahl der nicht zielführenden Experimente minimiert und falls nötig noch fehlende Materialien organisiert werden.

Für die Bearbeitung der Teilaufgabe ist eine gemeinsame Besprechung nicht nötig. Die Lehrkraft sollte allerdings bei absehbaren Fehlentwicklungen mit den betroffenen Gruppen die Probleme diskutieren. Ist im Unterricht nicht genügend Zeit für die Überarbeitung der Versuchsplanung, können Gruppen, deren geplantes Experiment nicht zielführend ist oder nicht alle notwendigen Größen messbar sind, die Korrektur zu Hause erledigen. Wichtig für den Kompetenzerwerb im Bereich E 2.1 ist dabei, dass die einzelnen Gruppen selbständig planen und keine Lösungen der Lehrkraft oder anderer Gruppen übernehmen.

Durchführung

Nachdem alle Gruppen zuvor ihr Experiment geplant haben, können sie anschließend mit der Messung beginnen (Teilaufgabe 2.2). Dazu müssen von der Lehrkraft bzw. gegebenenfalls von den Lernenden die benötigten Materialien zur Verfügung gestellt werden. Abhängig von der konkreten Versuchsausgestaltung ist davon auszugehen, dass zahlreiche Lernende im Schulgebäude rennen werden. Dementsprechend sollten davor die unten genannten Sicherheits- und Verhaltensregeln besprochen werden.

Die Messung der benötigten Werte geht insbesondere bei gewissenhafter Planung (Teilaufgabe 2.1) schnell, da nicht viele Größen bestimmt werden müssen sowie die Versuchsanordnung einfach ist und die Messgeräte bekannt sind (S 2.1). Es bietet sich an, dass die Gruppen zunächst alle Größen bestimmen, die unabhängig von der einzelnen Person sind (z. B. Bestimmung des zu überwindenden Höhenunterschieds beim Treppensteigen) und anschließend für jede Person eine individuelle Messung (z. B. Masse und Zeit beim Treppensteigen) vornehmen.

Besonders geschickte und schnelle Lerngruppen können auch Mehrfachmessungen durch Wiederholungen oder parallele Zeitmessungen verschiedener Gruppenmitglieder durchführen, was für den Kompetenzerwerb im Bereich E 3.3 sowie für die Teilaufgabe 3.1 hilfreich ist. Damit genügend Zeit für die weiteren Teilaufgaben bleibt, sollte den Lernenden eine Zeitvorgabe gemacht werden. Der genaue Zeitbedarf ist abhängig von den geplanten Experimenten und dürfte in den meisten Fällen ungefähr 15 Minuten betragen.

Auswertung

Nach der Durchführung des Experiments erfolgt die Auswertung (Teilaufgabe 2.3), wobei auf die in Teilaufgabe 1 wiederholten und gefestigten Rechenwege zurückgegriffen wird (S 2.3). Die benötigte Formel kann auch schon bei der Planung aufgestellt werden, da sie dort bereits durchaus von Bedeutung ist und die konkreten Werte auch nachträglich eingesetzt werden können. Die Berechnung der persönlichen Leistung ist mit dem Taschenrechner oder einem mobilen Endgerät schnell erledigt, weswegen für die Bearbeitung der Teilaufgabe wenige Minuten Arbeitszeit ausreichen.

Reflexion

In der verbliebenen Zeit werden die ermittelten Werte in der dritten Teilaufgabe verglichen und interpretiert. Die Diskussion der Versuchsergebnisse ist besonders interessant, wenn die einzelnen Gruppen verschiedene Experimente zur Leistungsbestimmung durchgeführt haben. Dies ist neben dem Kompetenzerwerb im Bereich E 2.1 ein weiterer Grund dafür, dass die Lernenden in Teilaufgabe 2.1 ihren Versuch frei und unabhängig von anderen Gruppen planen sollen. Ist das der Fall, kann man anhand der Abweichungen der Ergebnisse sehr gut das Thema *Messunsicherheiten* aufgreifen (E 3.3). So wird es Gruppen geben, die durchweg größere, durchweg kleinere oder innerhalb der Gruppe stark voneinander abweichende Leistungswerte ermittelt haben. Da die Aufgabe den Schwerpunkt nicht auf den Kompetenzbereich E 3.3 legt, bleibt die Formulierung der Teilaufgabe hier bewusst oberflächlich und verlangt von den Lernenden keine tiefergehende Analyse. Entsprechendes Vorwissen vorausgesetzt, kann man diesen Punkt ausweiten. Neben der Unterscheidung von stochastischen und systematischen Messunsicherheiten bietet sich dann auch eine genauere Betrachtung der jeweils zugrundeliegenden Messgrößen und ihrer Messgenauigkeit an. Wenn das gewünscht ist, muss die Aufgabenstellung entsprechend umformuliert werden, damit für die Lernenden die gewünschte Tiefe ersichtlich wird. In der vorliegenden Aufgabe wird darauf verzichtet, da der Schwerpunkt auf der Planung eines Experiments liegt (E 2.1) und die Arbeit einzelner Gruppen nicht gewertet werden soll.

Außerdem soll die Diskussion über Messunsicherheiten nicht davon ablenken, dass die mechanische Leistung einer Person eine individuelle Größe ist. Aufgrund ihrer Alltagserfahrungen und der unterschiedlichen Werte innerhalb einer Gruppe ist diese Erkenntnis auch für die Lernenden naheliegend. Da die körperliche Entwicklung in der 9. Klasse insbesondere bei Jungen häufig sehr unterschiedlich ist, können die ermittelten Ergebnisse unabhängig von etwaigen Messunsicherheiten teilweise sehr stark voneinander abweichen. Falls die Lernenden nicht selbst einen Zusammenhang zur Körpergröße bzw. -masse¹ erkennen, werden sie durch die Aufgabenstellung der Teilaufgabe 3.2 in die entsprechende Richtung gelenkt. Vergleichen sie darüber hinaus ihre persönliche Leistung pro Masse mit den Rekordleistungen aus Teilaufgabe 1, stellen sie fest, dass ihre Werte zumindest teilweise höher liegen.

Aufbauend auf ihrer Alltagserfahrung wird ihnen bewusst, dass auch die Belastungsdauer eine entscheidende Rolle für die Übertragung auf Anwendungen spielt. Je nach konkret durchgeführtem Experiment der Gruppe können sie ihren ermittelten Leistungswert entweder nur bei Kurzzeitbelastungen (weniger als eine Minute) oder nur für Ausdauerbelastungen heranziehen. Dies lässt sich auch sportwissenschaftlich mit Hilfe von Stoffwechselvorgängen erklären, was allerdings den Rahmen des Physikunterrichts deutlich übersteigt. Im Hinblick auf den Kompetenzerwerb im Fach Physik ist es von größerer Bedeutung, dass die Lernenden einmal

¹ Die physikalisch relevante Größe ist die Körpermasse, da sie einen unmittelbaren Einfluss auf die Energieänderung hat. Lernende werden in der Regel allerdings die unterschiedlichen Leistungen eher mit verschiedenen Körpergrößen begründen. Deshalb wird hier beides genannt, in der Aufgabe aber nur der Masseneinfluss aufgegriffen.

mehr in Erinnerung gerufen bekommen, dass physikalische Modelle Grenzen haben und man sich deren bewusst sein sollte (S 1.2).

Sicherheitshinweise

Wie zuvor erwähnt, ist bei vielen Versuchsausgestaltungen damit zu rechnen, dass die Lernenden rennen. Zur Vermeidung von Verletzungen sowie zur Reduzierung von Unterrichtsstörungen bei anderen Klassen sollten deshalb einige Sicherheits- und Verhaltensregeln mit ihnen besprochen werden. Da die meisten Regeln naheliegend sind und eine schriftliche Fixierung bei Lernenden der 9. Klasse vermutlich kaum einen Mehrwert erzielt, ist es ausreichend, wenn die Lehrkraft die Regeln vor Versuchsdurchführung mündlich mitteilt. Bei Klassen mit bekannten Disziplinproblemen kann es allerdings sinnvoll sein, die wichtigsten Regeln in Form eines Arbeitsblatts oder eines Hefteintrags zu dokumentieren.

Prinzipiell muss während des Experimentierens auf andere Gruppen und unbeteiligte Personen Rücksicht genommen werden. Besondere Vorsicht sollte bei nassen Bodenverhältnissen oder schlecht einsehbaren Stellen gegeben werden. Entsprechende Bereiche müssen gegebenenfalls explizit verboten oder gesperrt werden. An unübersichtlichen Stellen kann es auch hilfreich sein, den Weg bzw. das Treppenhaus für Passanten kurzzeitig unter Rücksprache mit dem Hausmeister bzw. der Hausmeisterin mit Hilfe von Bändern abzusperren. In diesem Fall sollte dann auch eine Regelung getroffen werden, damit sich verschiedene Gruppenmitglieder nicht entgegenkommen können. Dies lässt sich entweder durch eine Einbahnregelung gewährleisten oder dadurch, dass immer nur eine Person in Bewegung sein darf.

Außerdem sollten die Lernenden darauf achten, dass sie freie Hände haben, keine Kaugummi- oder Bonbons verschlucken können und auch mit Schmuck oder Haaren nirgends hängenbleiben können. Möchten einzelne Gruppen Experimente mit Hilfe eines Fahrrads oder anderen Fitnessgeräten durchführen, sind eventuell weitere Sicherheitsmaßnahmen und -belehrungen (z. B. das Tragen eines Fahrradhelms) anzuraten.

Um die umliegenden Klassen während ihres Unterrichts oder gar bei Prüfungen nicht übermäßig zu stören, muss die Lehrkraft neben der Überwachung der Sicherheitsregeln auch die Lautstärke im Blick haben. Eine sehr laute Gruppe ist dabei oft auch ein Indiz für wenig zielorientiertes Handeln: Wenn die Lernenden zielstrebig experimentieren, ist angesichts der vorzunehmenden Messungen keine übermäßige Lärmbelastung zu erwarten.

Hinweis zum Datenschutz

In dieser Lernaufgabe können zur Unterstützung der Lehr- und Lernprozesse Bild- und Tonaufnahmen erstellt werden. Bei der Erstellung, Verarbeitung und Weitergabe von Bild- und Tonaufnahmen von Lernenden muss die Wahrung von Datenschutz und Persönlichkeitsrechten berücksichtigt werden. Rechtliche Voraussetzungen wie die DSGVO und die Schuldatenschutzverordnungen der Länder gilt es zu erfüllen.

4 Lösungshinweise und Bezug zu den Standards

Es werden folgende Abkürzungen verwendet:

- ◆ S – Standards der Sachkompetenz,
- ◆ E – Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz,
- ◆ K – Standards der Kommunikationskompetenz,
- ◆ B – Standards der Bewertungskompetenz.

1.1	<p>Entscheidet bei den folgenden Situationen, ob die Personen hauptsächlich mechanische Leistung erbracht haben oder eine andere Leistung im Vordergrund steht. Berechne die mechanische Leistung bei den Situationen, in denen hauptsächlich mechanische Leistung erbracht wurde.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Australier Paul Crake (ca. 65 kg) stieg im Jahr 2003 die 1576 Stufen auf die 320 m hoch gelegene 86. Etage des Empire State Buildings innerhalb von neun Minuten und 33 Sekunden. • Marco Pantani (Masse mit Fahrrad: 67 kg) stellte 1995 einen Rekord bei der Tour de France hinauf nach Alpe d'Huez auf: Er überwand die 1090 m Höhenunterschied auf dem 13,8 km langen Anstieg in 36 Minuten und 50 Sekunden. • Die damals 47-jährige Finnin Johanna Nordblad stellte im März 2021 einen neuen Rekord im Eistauen auf: Ohne Hilfsmittel und mit nur einem Atemzug tauchte sie eine Strecke von 103 m unter der Eisdecke des Öllöri-Sees entlang und brauchte dafür zwei Minuten und 42 Sekunden. • Bei seinem Weltrekord bei der Weltmeisterschaft 2009 in Berlin über die 100 m erreichte Usain Bolt (m = 94 kg) etwa 40 m bzw. 4,64 s nach dem Start eine Spitzengeschwindigkeit von knapp 45 km/h. 	S 2.4	E	K	B
-----	--	----------	---	---	---

Nachdem den Lernenden sowohl der Begriff mechanische Leistung als auch die zugehörigen Rechenansätze bekannt sind, geht es in der Aufgabenstellung in erster Linie darum, bekannte mathematische Verfahren auf die jeweils aufgezählte Situation zu übertragen (S 2.4) und so den bekannten Unterrichtsstoff zu wiederholen. Dazu gehört auch, dass vereinfachend die Bewegungen der einzelnen Gliedmaßen nicht berücksichtigt und ausschließlich die Bewegungen des Körperschwerpunkts betrachtet werden.

Die erste Hürde der Teilaufgabe ist es, Vorgänge, bei denen die mechanische Leistung im Mittelpunkt steht, von anderen abzugrenzen. Das wesentliche Kriterium für diese Entscheidung ist, ob mechanische Arbeit verrichtet wurde bzw., ob die mechanische Energie geändert wurde. Dies ist mit Ausnahme des dritten Punkts (Eistaucherin Johanna Nordblad) bei allen genannten Rekorden der Fall. Naheliegenderweise sind beim Eistauen thermische Gesichtspunkte sehr viel relevanter als die mechanische Arbeit. Zwar ist auch das Tauchen einer so langen Strecke in einer nicht allzu langen Zeit für die meisten Lernenden zweifelsfrei eine

beachtliche Leistung, allerdings dürfte ihnen durchaus bewusst sein, dass erst die geringe Wassertemperatur es zu einem erwähnenswerten Rekord macht.

Im Gegensatz dazu sind bei den drei übrigen Rekorden allein schon die mechanischen Leistungen bemerkenswert und auch vorrangig. Bei den ersten beiden Situationen wird Hubarbeit verrichtet und die Lageenergie der Personen erhöht. Usain Bolt vergrößert seine kinetische Energie und verrichtet somit Beschleunigungsarbeit.

Die Berechnungen der einzelnen mechanischen Leistungen greifen nur auf die bekannte Definition der Leistung ($P = \Delta E / \Delta t$) und die Energieformeln zurück. Da die Lageenergie direkt proportional zur Höhe ist, besteht in den ersten beiden Fällen nur ein geringes Fehlerpotential. Dies ist bei kinetischer Energie und Geschwindigkeitsänderungen im Allgemeinen zwar deutlich größer, im konkreten Fall ist aber die Anfangsgeschwindigkeit 0 m/s, wodurch die fehlende Linearität keine Probleme bereiten dürfte. Trotzdem sollte Wert darauf gelegt werden, dass nicht einfach die Geschwindigkeitsdifferenz zur Berechnung verwendet wird, sondern die Differenz der kinetischen Energien.

Lösungsbeispiel:

Treppenlauf (Paul Crake): mechanische Leistung (aufgrund von Hubarbeit)

$$P = \frac{\Delta E_H}{\Delta t} = \frac{mgh_2 - mgh_1}{\Delta t} = \frac{mg(h_2 - h_1)}{\Delta t} = \frac{65 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (320 \text{ m} - 0 \text{ m})}{9 \cdot 60 \text{ s} + 33 \text{ s}} = 0,36 \text{ kW}$$

Bergradfahrt (Marco Pantani): mechanische Leistung (aufgrund von Hubarbeit)

$$P = \frac{\Delta E_H}{\Delta t} = \frac{mgh_2 - mgh_1}{\Delta t} = \frac{mg(h_2 - h_1)}{\Delta t} = \frac{67 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1090 \text{ m}}{36 \cdot 60 \text{ s} + 33 \text{ s}} = 0,33 \text{ kW}$$

Eistauchen (Johanna Nordblad):

Die mechanische Leistung ist nachrangig, da die Beibehaltung der Körpertemperatur bzw. die Dauer des Luftanhaltens sehr große Bedeutung hat und sich weder kinetische Energie noch Lageenergie des Körperschwerpunkts nennenswert ändern.

Sprintstart (Usain Bolt): mechanische Leistung (aufgrund von Beschleunigungsarbeit)

$$P = \frac{\Delta E_{kin}}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 94 \text{ kg} \cdot \left(\left(12,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \right)}{4,64 \text{ s}} = 1,6 \text{ kW}$$

2.1	Plant ein Experiment zur Bestimmung der eigenen mechanischen Leistung. Notiert auf dem Arbeitsblatt <i>Kleingruppenexperiment</i> (Material 1) das benötigte Material (2 Aufbau/Material) und die geplante Durchführung (3 Durchführung). Geht dabei insbesondere auf die zu messenden Größen und die verwendeten Messgeräte ein.	S	E 2.1	K	B
-----	---	---	----------	---	---

Bei dieser Teilaufgabe ist es besonders wichtig, dass die Lernenden das Experiment selbstständig planen (E 2.1) und die Lehrkraft ihnen die dafür nötigen Freiräume schafft. Das bedeutet nicht, dass die Lernenden sich selbst überlassen werden. Wie in den didaktischen Erläuterungen zur Durchführung beschrieben, kann die Lehrkraft über eine passende Auswahl an Rekordbeispielen sehr gut die Grundideen der Experimente beeinflussen. Außerdem sollten Fehlentwicklungen rechtzeitig mit den Lernenden besprochen werden, damit sie später zielführend experimentieren können. Dabei ist im Sinne des Kompetenzerwerbs im Bereich E 2.1 aber unbedingt darauf zu achten, dass die Lehrkraft nicht zu enge Vorgaben macht und die Lernenden weitestgehend eigenständig planen. Eine sehr gute Möglichkeit ist, die Lernenden ihren geplanten Versuchsaufbau und die Bedeutung der benötigten Komponenten erklären zu lassen. Das führt oft dazu, dass die Lernenden die Probleme selbst erkennen. Wenn dies nicht ausreichend ist, kann die Lehrkraft auch explizit auf etwaige Schwächen des geplanten Experiments hinweisen. Darüberhinausgehende Tipps sollten immer im Blick behalten, dass die Planung des Experiments nicht vorweggenommen wird.

Ein Ratschlag, der gefahrlos gegeben werden kann und in vielen Fällen sicherlich hilft, ist, dass eine gute, gewissenhafte Planung die Durchführung des Experiments deutlich erleichtert und beschleunigt. So sollten sich die Lernenden unbedingt auch Gedanken machen, wie sie die einzelnen Größen (insbesondere die Zeit) möglichst einfach und genau messen können. Hier liegt bei der Versuchsdurchführung häufig die größte Schwierigkeit. Bei entsprechendem Vorwissen über Messunsicherheiten und ihre Verringerung ist dabei auch die Mehrfachmessung interessant (vgl. Hinweise zur Durchführung).

Da die Planung im Wesentlichen in den Händen der einzelnen Gruppen liegt, ist es absehbar (und auch wünschenswert), dass es verschiedene Ausgestaltungen des Experiments gibt. Angesichts der Hinführung mit Hilfe der Rekordliste werden die meisten Gruppen die dortigen Ideen fortführen. Während das Treppensteigen und der Sprintstart an allen Schulen möglich sein dürften, ist eine Bergfahrt mit dem Fahrrad in vielen Fällen nicht geeignet. Für alle Bewegungen in der Ebene muss die benötigte Kraft messbar sein, was mit schulischen Mitteln in der Regel schwierig ist. Für die Bergfahrt muss ein Fahrrad zur Verfügung stehen und ein ausreichend langer Berg aus Aufsichtsgründen in Sichtweite der Schule liegen. Auch das dürfte eher selten der Fall sein. Die Idee des Fahrradfahrens lässt sich aber mit einem Ergometer oder einem Rollenradtrainer mit Leistungsmesssystem bei vorhandenem Material durchaus gewinnbringend umsetzen. Abhängig von der Schulausstattung sind auch weitere Möglichkeiten denkbar. Hier muss die Lehrkraft entscheiden, welche Experimente mit vertretbarem Aufwand und ohne Sicherheitsbedenken durchführbar sind.

Die konkrete Messmethode der benötigten Größen gehört ebenfalls zur Planung der Lernenden. Da in den meisten Fällen Masse und Zeit sowie entweder Höhenunterschied oder Geschwindigkeit gemessen werden muss, können die Lernenden auf bekannte Messgeräte zurückgreifen. Insbesondere bei der Messung von Sprintstarts sind dabei auch digitale Messmethoden wie z. B. die Videoanalyse denkbar (beispielsweise mit der App [phyphox](#) der RWTH Aachen). Nachdem sich die Lernenden überwiegend an ihrem Erfahrungsschatz, der stark auf dem Unterricht basiert, bedienen werden, wird die Ausstattung der Schule die Ideen automatisch beeinflussen. Wenn die Lernenden Zugriff auf weitere Messgeräte haben, obliegt der

Lehrkraft die Abwägung, ob der Einsatz im Unterricht im Hinblick auf didaktischen Nutzen und Sicherheit sinnvoll ist.

Bei der Fixierung der Versuchsplanung ist das Hauptaugenmerk auf die Durchführung zu legen. Der Aufbau dürfte in den meisten Fällen unverhältnismäßig aufwändig in der Darstellung sein und kann in Form einer Materialliste erfolgen.

Lösungsbeispiel (z. B. Treppenlaufen):

◆ 2 Aufbau/Material

- ◆ Waage
- ◆ Stoppuhr
- ◆ Maßband

◆ 3 Durchführung

Zuerst suchen wir uns ein Treppenhaus, bei dem wir den gesamten Bereich des Treppenlaufs gut einsehen können. Dann messen wir mit dem Maßband die Höhe einer Treppenstufe und berechnen mit Hilfe der Stufenanzahl den Gesamthöhenunterschied. Anschließend bestimmt jedes Gruppenmitglied seine Masse mit der Waage. Alle entsprechenden Werte werden im Bereich 4 Beobachtung/Messwerte notiert. Eine Person startet ihren Treppenlauf und die anderen Gruppenmitglieder messen die dafür benötigte Zeit. Gestartet und gestoppt wird jeweils, wenn die Person die Starthöhe verlässt bzw. die Zielhöhe erreicht. Haben die stoppenden Gruppenmitglieder unterschiedliche Zeiten ermittelt, bilden wir den Mittelwert aus den Messwerten. Anschließend wiederholen die anderen Gruppenmitglieder den Versuch.

2.2	Misst für jede Person eurer Gruppe alle benötigten Werte und notiert sie auf dem Arbeitsblatt <i>Kleingruppenexperiment</i> (Material 1) im Bereich 4 Beobachtung/Messwerte.	S 2.1	E 3.2	K	B
------------	--	----------	----------	---	---

In dieser Teilaufgabe müssen die Lernenden den zuvor geplanten Versuch durchführen und nachvollziehbar protokollieren (S 2.1). Da der Aufbau in vielen Fällen nicht über das Markieren von Start bzw. Stopp sowie das Finden einer geeigneten Messposition hinausgeht, liegt das Hauptaugenmerk auf der sauberen Protokollierung des Versuchs. Dabei sollte besonders auf die Trennung von Beobachtung (Teilaufgabe 2.2: Messwerterfassung) und Interpretation (Teilaufgabe 2.3: Auswertung) Wert gelegt werden (E 3.2). Angesichts des geringen Schwierigkeitsgrads der Teilaufgabe sollten die Lernenden genügend Ressourcen zur Verfügung haben, um ihre Kompetenzen in den beiden genannten Bereichen zu festigen. Bei schwächeren Lerngruppen können hier aber Kompromisse gemacht werden, da der Schwerpunkt der Aufgabe in anderen Kompetenzbereichen liegt. Ihre Lösung notieren die Lernenden, wie vorgegeben, auf dem Arbeitsblatt unter der Überschrift „4 Beobachtung/Messwerte“.

Hinweis: Die im Versuch zu messende Körpermasse ist in diesem Alter teilweise ein sensibles Thema. Falls einzelne Lernende ihre Masse nicht in der Gruppe bekannt geben wollen, können sie gegebenenfalls auf Phantasiewerte oder im Internet recherchierte Durchschnittswerte zurückgreifen.

Lösungsbeispiel (z. B. Treppenlauf):

Stufenhöhe: 16,5 cm

Stufenanzahl: 20

Masse der laufenden Person:	60 kg	55 kg	63 kg
Zeit (Person 1 gestoppt):	2,53 s	2,43 s	2,40 s
Zeit (Person 2 gestoppt):	2,46 s	2,49 s	2,44 s
Durchschnittszeit:	2,50 s	2,46 s	2,42 s

2.3	Berechnet jeweils mit Hilfe eurer Messwerte die mechanische Leistung jeder Person der Gruppe und notiert sie bei 5 Auswertung/Ergebnis auf dem Arbeitsblatt <i>Kleingruppenexperiment</i> (Material 1).	S 2.3	E 3.2	K	B
-----	---	----------	----------	---	---

Wie in der vorherigen Teilaufgabe ist auch hier der Schwierigkeitsgrad gering, da ausschließlich bekannte und zuvor wiederholte Verfahren zur Auswertung der zuvor gemessenen Werte genutzt werden (S 2.3). Entsprechend ist es sinnvoll, die Teilaufgabe auch dafür zu nutzen, die Differenzierung zwischen Beobachtung und Interpretation zu festigen (E 3.2). Es gilt aber auch wieder, dass dieser Punkt nicht im Vordergrund stehen sollte und bei schwächeren Lerngruppen großzügig verfahren werden kann, wenn eine Vermischung (z. B. Berechnung der Gesamthöhe bei der vorherigen Teilaufgabe) stattfindet.

Wünschenswert ist, dass die Lernenden einen Gesamtansatz für die Berechnung der Leistung aufstellen und anschließend die Werte der verschiedenen Gruppenmitglieder nur noch einsetzen und berechnen. Dies fällt Lernenden allerdings oft schwer, weswegen sie viel mit Zwischenergebnissen arbeiten. Nachdem für jedes Gruppenmitglied die gleiche Rechnung mit nur leicht abgeänderten Werten durchgeführt werden muss, können die Lernenden in dieser Teilaufgabe den Wert eines Gesamtansatzes zumindest teilweise selbst erfahren. Da sie mit etwas mehr Aufwand aber auch mit Hilfe von Zwischenergebnissen ans Ziel kommen, ist ein Gesamtansatz nicht zwingend nötig.

Die Leistungswerte, die von den Lernenden ermittelt werden, sollten im Allgemeinen im Bereich mehrerer Hundert Watt liegen. Bei sehr ungenauen Messungen oder außergewöhnlichen Versuchskonzeptionen können die Werte aber auch darüber oder darunter liegen. So ergeben sich insbesondere bei sehr kurzen Messungen oft auch Leistungen über einem Kilowatt und bei längeren Messungen vergleichsweise geringe Leistungswerte. Ergometer geben beispielsweise oft Messwerte in Abständen von Sekundenbruchteilen aus und können so sehr hohe Maximalwerte liefern. Umgekehrt führen Läufe über schiefe Ebenen, wie sie bei Rollstuhlrampen eingesetzt werden, zu sehr kleinen Werten, weil der Höhengewinn im Vergleich zur zurückgelegten Strecke zu gering ist.

Solche Unterschiede stellen für die Aufgabe allerdings kein Problem dar. Ganz im Gegenteil: Sie bereichern die spätere Diskussion in der folgenden Teilaufgabe 3.

Lösungsbeispiel (Treppenlauf):

$$P_1 = \frac{\Delta E_H}{\Delta t} = \frac{mgh_2 - mgh_1}{\Delta t} = \frac{mg(h_2 - h_1)}{\Delta t} = \frac{60 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20 \cdot 0,165 \text{ m}}{2,5 \text{ s}} = 0,78 \text{ kW}$$

$$P_2 = \frac{\Delta E_H}{\Delta t} = \frac{mgh_2 - mgh_1}{\Delta t} = \frac{mg(h_2 - h_1)}{\Delta t} = \frac{55 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20 \cdot 0,165 \text{ m}}{2,46 \text{ s}} = 0,72 \text{ kW}$$

$$P_3 = \frac{\Delta E_H}{\Delta t} = \frac{mgh_2 - mgh_1}{\Delta t} = \frac{mg(h_2 - h_1)}{\Delta t} = \frac{63 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20 \cdot 0,165 \text{ m}}{2,42 \text{ s}} = 0,84 \text{ kW}$$

3.1	Vergleicht eure Ergebnisse innerhalb der Gruppe und mit den Ergebnissen der anderen Gruppen. Diskutiert dabei auch, ob die Ausgestaltung des Experiments einen Einfluss auf den ermittelten Leistungswert hat.	S	E 3.3 3.4	K	B
-----	--	---	-----------------	---	---

Je mehr verschiedene Versuchsideen in der Klasse durchgeführt wurden, desto anregender ist die Diskussion in dieser Teilaufgabe. Haben alle Gruppen mehr oder weniger den gleichen Versuch durchgeführt, werden sich auch ihre Ergebnisse nur wenig unterscheiden und es können kaum Erkenntnisse aus dem Vergleich gewonnen werden. Wenn es allerdings viele verschiedene Versuche gibt und sich die Leistungswerte idealerweise voneinander unterscheiden, erkennen die Lernenden leicht, wie die Versuchsgestaltung einen Einfluss hat. Dies führt zwangsläufig zur Frage, inwieweit Messunsicherheiten für die Abweichung verantwortlich sind (E 3.3) und welche Messverfahren besser oder schlechter geeignet sind (E 3.4).

Angeichts der Ergebnisse von Teilaufgabe 1 haben leistungsstarke Lernende evtl. bereits den Einfluss der Belastungsdauer erkannt. Dieser Punkt ist ein wesentlicher Faktor und wird in der abschließenden Teilaufgabe 3.2 vertieft. Außerdem werden die Lernenden feststellen, dass selbst bei gleicher oder sehr ähnlicher Ausgestaltung des Experiments die Werte nicht identisch sind. Eine genauere Betrachtung sollte in der Regel zur naheliegenden Vermutung führen, dass Fitness sowie Körpergröße bzw. -masse einen Einfluss auf die mechanische Leistungsfähigkeit haben. Während die körperliche Fitness schlecht quantifizierbar ist, wird der Einfluss der Körpermasse in der folgenden Teilaufgabe ebenfalls vertieft.

Bei der Diskussion in dieser Teilaufgabe sollte die Lehrkraft darauf achten, dass alle Versuchsideen ihren Wert haben und keine Gruppe das Gefühl entwickelt, ihr Versuch wäre schlecht. Letztlich ist die mechanische Leistung eines Menschen stark von der jeweiligen Situation abhängig. Je nach Dauer und Art der Tätigkeit sind unterschiedliche Leistungswerte realistisch. So kann man, wie in der vorherigen Teillösung beschrieben, den Leistungswert beim Treppenlauf nicht ohne weiteres auf die vermeintlich ähnliche schiefe Ebene übertragen. Und der kurzzeitige Maximalwert beim Ergometer ist ungeeignet, um die Fahrt eines Rades auf einem Alpenpass zu betrachten.

Diese Differenzierung sollte im Idealfall das Ergebnis der Diskussion sein. Da im Gegensatz zu den vorherigen Teilaufgaben dieses Ziel sehr anspruchsvoll ist, muss die Lehrkraft hier gegebenenfalls deutlich stärker eingreifen und den Lernenden assistieren.

Lösungsbeispiel:

Die Ergebnisse innerhalb einer Gruppe unterscheiden sich nur relativ gering. Es liegt der Verdacht nahe, dass der Fitnesszustand sowie die Körpergröße bzw. -masse einen Einfluss auf die mechanische Leistung einer Person haben.

Die Ergebnisse zwischen Gruppen mit abweichenden Versuchsideen unterscheiden sich teilweise sehr stark voneinander. Somit ist es naheliegend, dass die Ausgestaltung des Experiments einen Einfluss auf den ermittelten Leistungswert hat und man in verschiedenen Anwendungssituationen auch unterschiedliche Leistungen erbringen kann.

3.2	Berechnet sowohl für eure Ergebnisse als auch für die Situationen aus Teilaufgabe 1 die Leistung pro Körpermasse. Vergleicht die Werte miteinander und begründet Gemeinsamkeiten bzw. Abweichungen.	S 1.2	E	K	B
------------	---	----------	---	---	---

Wie in der vorherigen Teilaufgabe beschrieben, ist die mechanische Leistung von der konkreten Anwendungssituation (insbesondere Dauer) und der Fitness/Körpermasse der Person abhängig. Beides können die Lernenden in dieser Teilaufgabe erkennen. Bei der Division durch die Körpermasse erhält man einen Wert, der die Fitness einer Person relativ gut beschreibt. Dabei fällt auf, dass die meisten Lernenden höhere Werte erreichen als die Ausdauerrekorde aus Teilaufgabe 1. Im Vergleich zu Usain Bolts Weltrekordsprint sind die ermittelten Leistungswerte der Lernenden aber kleiner. So wird auch für die Lernenden leicht ersichtlich, dass die Dauer der Belastung (vgl. vorherige Teilaufgabe) ebenfalls eine sehr große Rolle spielt und kurzzeitig offensichtlich deutlich höhere mechanische Leistungen erzielt werden können als langfristig. Eine Tatsache, die auch ihren eigenen Erfahrungen aus dem Sportunterricht entspricht und mit Hilfe der Aufgabe physikalisch belegt werden kann. Wie in den Hinweisen zur Durchführung beschrieben, liegt die Ursache dafür in der Limitierung der Stoffwechselvorgänge im menschlichen Körper, wodurch nur kurzzeitig sehr viel Energie für die Muskelkontraktion bereitgestellt werden kann.

Bei Ausdauerleistungen fällt hingegen auf, dass sowohl beim Treppensteigen als auch beim Radfahren auf einen Berg sehr ähnliche Leistungswerte erreicht werden. Aufgrund der Dauer der Belastung ist die Leistungsfähigkeit durch die Energiebereitstellung des Herz-Kreislaufsystems begrenzt. Dieses kann selbst bei optimaler Ernährung und Atmung nur eine begrenzte Menge an Stoffwechselprodukten zu den beanspruchten Muskeln transportieren und bildet somit eine Grenze, die für Männer bei ungefähr fünf Watt pro Kilogramm Körpermasse liegt. Bei Frauen ist die Grenze aufgrund körperlicher Unterschiede etwas niedriger.

Lösungsbeispiel:

Person	Paul Crake	Marco Pantani	Usain Bolt	Person 1 (Treppenlauf)	Person 2 (Treppenlauf)	Person 3 (Treppenlauf)
P in kW	0,36	0,33	1,6	0,78	0,72	0,74
P/m in W/kg	5,5	4,8	17	13	13	13

Während Paul Crake und Marco Pantani ähnliche mechanische Leistungen pro Masse erreicht haben, weichen die Werte von Usain Bolt und uns deutlich davon ab.

Man erkennt, dass die kurzen Belastungen im Sprint oder unserem Versuch deutlich größere Leistungswerte ermöglichen, wohingegen langfristige Belastungen nur geringere Leistungswerte erlauben. Unsere Werte sind geringer als bei Usain Bolt, weil wir schlechter trainiert und jünger sind als er.

5 Quellenangaben

- ◆ Cerny, K. (2022, 12. Dezember). *Die Eisbrecherin*. <https://www.redbull.com/ch-de/theredbulletin/johanna-nordblad-eistauchen-freediving-weltrekord>
- ◆ Merkur (2022, 07. Oktober). *Treppenlauf im Empire State Building: Deutscher auf Platz 4*. <https://www.merkur.de/welt/treppenlauf-im-empire-state-building-deutscher-auf-platz-zr-91835126.html>
- ◆ Wikipedia. (2023, 25. Juli). *Alpe d'Huez*. https://de.wikipedia.org/wiki/Alpe_d%E2%80%99Huez
- ◆ Wikipedia. (2024, 14. Juli). *100-Meter-Lauf*. <https://de.wikipedia.org/wiki/100-Meter-Lauf>