

Punkteverteilung

Auftrag	Punkte	Inhalt	Bewertungshinweise
1.	2	Beobachtungen und Werte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beobachtungen: Zu den Beobachtungen werden nur knappe Hinweise erwartet (z. B. zur Entgasung der Softdrinks). ▪ inhaltliche Bewertung der Werte: Die Darstellung der Werte (z. B. in einer Tabelle) ist nicht explizit verlangt; sie könnten also direkt ins Diagramm übertragen worden sein. Bei der Bewertung ist daher z. B. darauf zu achten, <ul style="list-style-type: none"> - ob sechs Zuckerlösungen vermessen wurden, - ob die Werte weitgehend plausibel sind.
	2	Diagramm	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anmerkung zur digitalen Erstellung des Diagramms: Wurde das Koordinatensystem mit den Datenpunkten nicht digital erstellt, ist 1 Punkt abzuziehen. Allerdings wird in der Bewertung <u>nicht</u> negativ berücksichtigt, ob die <u>Näherungsgerade</u> auch digital oder per Hand gezeichnet wurde und wie diese Gerade verläuft (sofern sie nicht ganz sinnverzerrend liegt). Sogar eine streckenweise Verbindung der einzelnen Punkte wird akzeptiert. Vereinzelte formale Aspekte führen nicht sofort zum Punktabzug, z. B. fehlende Legende an den Achsen <i>oder</i> Sorgfalt (diese findet in der „äußeren Form“ Beachtung, s. u.).
	2	Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herleitung der drei Ergebnisse: Mindestens das Ergebnis zu Cola, zu Cola light und zu einem weiteren Softdrink wird erwartet. Statt „Cola light“ können auch andere zuckerfreie Cola-Varianten (wie zero oder max) verwendet werden. Die Herleitung dieser drei Ergebnisse (ausgehend von der Geraden) muss nachvollziehbar, also beschrieben oder im Diagramm markiert sein. ▪ Reflexion: (1) Vergleich mit den Angaben auf dem Etikett (2) knappe Darstellung experimenteller Schwierigkeiten Wird auf keinen <i>oder</i> nur auf einen der beiden Aspekte eingegangen, wird 1 Punkt abgezogen.
*	2	Aräometer <i>zusätzlich für 8.–10. Klasse</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung des Aräometers: Zu bewerten ist, ob die Herstellung des Aräometers sinnvoll ist und wie diese dokumentiert wurde. ▪ digitale Erstellung einer Versuchsskizze: Ist keine Versuchsskizze vorhanden <i>oder</i> wird diese komplett per Hand (statt digital) erstellt, wird 1 Punkt abgezogen. Die Ansprüche an die Versuchsskizze sind aber nicht zu hoch anzusetzen: Wird z. B. in der App keine Pipette gefunden und stattdessen etwa ein Reagenzglas gewählt, werden keine Punkte abgezogen. Auch handschriftliche Beschriftungen führen nicht zum Punktabzug.
2.	2	Durchführung und Werte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durchführung: Zur Durchführung werden nur Ergänzungen (zum Video) erwartet. ▪ inhaltliche Bewertung der Werte: Die Darstellung der Werte (z. B. in einer Tabelle) ist nicht explizit verlangt; sie könnten also direkt ins Diagramm übertragen worden sein. Bei der Bewertung ist daher z. B. darauf zu achten, <ul style="list-style-type: none"> - ob vier Zuckerulör-Lösungen vermessen wurden, - ob die Werte weitgehend plausibel sind.

	2	Diagramm	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anmerkung zur Erstellung des Diagramms (nicht digital erforderlich): Erwartet werden im Diagramm die Datenpunkte samt Näherungskurve. Allerdings wird in der Bewertung <u>nicht</u> berücksichtigt, ob das Diagramm digital oder komplett per Hand erstellt worden ist (im Gegensatz zu Auftrag 1!) und wie die Näherungskurve aussieht (eine Gerade wird also genauso voll akzeptiert wie eine streckenweise Verbindung der einzelnen Punkte).
	2	Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herleitung der zwei Ergebnisse: Mindestens das Ergebnis zu Cola und zu Cola light wird erwartet. Die Herleitung dieser beiden Ergebnisse (ausgehend vom Diagramm) muss nachvollziehbar, also beschrieben oder im Diagramm markiert sein. ▪ Reflexion: knappe Darstellung experimenteller Schwierigkeiten
3. a)	2	Gesundheit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zucker: 3 Aspekte <ul style="list-style-type: none"> - grobe Darstellung gesundheitlicher Folgen - Angabe einer maximal empfohlenen Tagesdosis - berechnetes Cola-Volumen bis zum Erreichen der Tagesdosis ▪ Zuckerkulör: 3 Aspekte analog zu Zucker Fehlt einer der 6 Aspekte (2 x 3), wird noch kein Punkt abgezogen.
3. b)	2	eigener Softdrink	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durchführung und Beobachtungen: Zu den vier Schritten der Softdrink-Herstellung sind Durchführung und Beobachtungen (Geschmackseindrücke) zu dokumentieren: 1. Herstellung der Grundmischung aus Zucker und Zuckerkulör, 2. Zitronensäure-Zugabe, 3. Verdünnung, 4. Aroma-Zugabe.
	2	Rezept	<ul style="list-style-type: none"> ▪ digital erstelltes Rezept als Deckblatt: In die Bewertung des Rezepts fließt sowohl die inhaltliche Nachvollziehbarkeit als auch die ästhetische Gestaltung des Deckblatts mit ein. Wurde es nicht einmal teilweise digital erstellt, ist 1 Punkt abzuziehen.
4.	2	Vorversuch: Teil 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flüssigkeiten: Zu mindestens drei Flüssigkeiten (Cola, Cola light und weiterer Softdrink) müssen Beobachtungen und Auffälligkeiten dokumentiert werden.
	2	Vorversuch: Teil 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusätze: Zu mindestens drei Zusätzen (Mentos classic, weitere Süßigkeit, körniger Stoff) müssen Beobachtungen und Auffälligkeiten dokumentiert werden.
	2	Fontäne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durchführung und Beobachtungen im Freien: Die Durchführung und wenige Beobachtungen sind knapp zu beschreiben. ▪ Höhe der Fontäne: Aus einem Video-Screenshot wird durch Vergleich mit den Maßen der Original-Flasche die Höhe der Fontäne berechnet.
äußere Form	2	Fotos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ aussagekräftige Fotos oder Zeichnungen (außer Deckblatt)
	2	Sorgfalt	<ul style="list-style-type: none"> ▪ formale Kriterien: z. B.: persönliche Daten auf dem Deckblatt, Inhaltsverzeichnis, ... ▪ ordentliche Anfertigung: Dies bezieht sich auf die Diagramme, aber auch auf die gesamte Arbeit. Handschriftliche Aufzeichnungen führen nicht zum Punktabzug.
Zusatz: Ausgleichspunkte			<ul style="list-style-type: none"> ▪ max. Zusatzpunkte für die Klassenstufen 5/8/9: +1/+3/+2 ▪ max. Zusatzpunkte für Gesamtschulen und Realschulen (plus): +1 (für Klassen 5–7) bzw. +3 (für Klassen 8–10)
Σ 28/30		für 5. – 7. Klasse / 8. – 10. Klasse (exklusive Ausgleichspunkte)	

Allgemeine Hinweise

Wie ist die Tabelle zur Punkteverteilung zu verstehen?

In obiger Tabelle sind die maximal erreichbaren Punkte (jeweils 2 Punkte) angegeben. Die Punktevergabe pro Kategorie erfolgt *bis zur Maximalzahl in drei Stufen*, d. h.: Es können entweder 2 oder 1 oder 0 Punkte, jedoch keine Zwischenwerte vergeben werden.

Beschreibung der Einstufungen:

2 Punkte: sehr gute, ausführliche, differenzierte Darstellung (höchstens mit wenigen kleinen Fehlern)

1 Punkt: mittelmäßige Darstellung (teilweise lücken- oder fehlerhaft) oder ein nicht erfülltes Bewertungskriterium

0 Punkte: schwache Darstellung (zu knapp oder mit gravierenden Fehlern)

Die mit * markierten, grau unterlegten Aufgaben werden nur von 8. bis 10. Klasse bearbeitet.

Welche Urkunde gibt es mit welcher Punktzahl?

	5. bis 7. Klasse	8. bis 10. Klasse
Ehrenurkunde	28 – 16 Punkte	30 – 23 Punkte
Siegerurkunde	15 – 9 Punkte	22 – 11 Punkte
Teilnahmeurkunde	8 – 4 Punkte	10 – 3 Punkte
Teilnahmebestätigung	3 – 0 Punkte	2 – 0 Punkte

Was ist mit Erwartungshorizont gemeint?

Folgende Hinweise zur Lösung sind nicht als Optimal- oder Standardlösung zu verstehen. Bewusst sind einige Aufgaben (wie das Austreiben der Kohlensäure, der Aufbau des Aräometers oder die Vorversuche zur Cola-Mentos-Fontäne) so offen formuliert, dass die Experimente (inklusive der Materialien und Mengen) eigenständig entwickelt bzw. recherchiert werden müssen, was zu *abweichenden* und unterschiedlich ausgeprägten Beobachtungen und Ergebnissen führen kann. Die Ursachen für solche Diskrepanzen können auch in den diversen Produktmarken (z. B. von Cola), an den verwendeten Apps, an den Geräten des Haushalts (z. B. Genauigkeit der Küchenwaage) liegen, dieses Mal vor allem aber an der prinzipiellen Ungenauigkeit der Messmethode, wenn man diese mit Hilfe von einfachen Mitteln versucht nachzustellen. Entscheidend ist daher, dass die Tendenzen sowie Schlussfolgerungen nachvollziehbar dargelegt sind und die Experimente kritisch reflektiert werden.

Die eingebetteten „Anmerkungen“ werden von den Wettbewerbsteilnehmenden nicht erwartet, sondern dienen nur der Information. So werden zu manchen Aufgaben mehrere mögliche Experimente als Alternative vorgeschlagen oder weiterführende theoretische Hintergründe ergänzt.

Da einige Schülerinnen und Schüler ihre Experimente in der Schule durchführen, wird akzeptiert, wenn die verwendeten Materialien *nicht aus dem Haushalt* stammen, sofern dies die Aufgabenstellung nicht ausdrücklich verlangt.

Auftrag 1: Zuckergehalt „Voll Kola. Null Zucker“

Wie viele Zuckerwürfel stecken in Softdrinks?

Stelle zunächst sechs Lösungen mit unterschiedlichem Zuckergehalt her: mit 0, 5, 10, 15, 20 und 25 weißen Zuckerwürfeln, jeweils mit Wasser auf 500 mL aufgefüllt.

Wende nun Methode A oder B (je nach Klasse) auf die sechs Lösungen an:

- **Methode A (für Klassen 5 - 7)**

Bestimme mit einer Küchenwaage die Masse von 500 mL der jeweiligen Lösung.

- **Methode B (für Klassen 8 - 10)**

Recherchiere Aufbau und Funktionsweise eines Aräometers (keine Dokumentation). Baue selbst ein Aräometer mit Hilfe von Sand und einer Einweg-Tropfpipette, deren Spitze du etwas abschneidest. Markiere mit einem wasserfesten Stift und Lineal eine Skala auf deinem Aräometer. Lies bei dessen Eintauchen in die zu untersuchende Lösung den Wert auf der Skala ab.

Erstelle auf <https://chemix.org> eine Skizze deines Versuchs. Füge das erzeugte Bild in deine Arbeit ein.

Stelle die Messwerte im Koordinatensystem – in Abhängigkeit von der Zahl der Zuckerwürfel – dar und nutze hierzu ein digitales Tool (z. B. Tabellenkalkulation). Lege näherungsweise eine Gerade durch die sechs Punkte.

Wende anschließend dieselbe Methode auf Cola, Cola light und einen weiteren Softdrink an, wobei du vorher die Gasbläschen aus den Getränken entfernst, z. B. durch ausgiebiges Rühren.

Beantworte nun anhand der erstellten Gerade die Ausgangsfrage. Vergleiche dein Ergebnis mit den Angaben auf dem Getränkeetikett und stelle experimentelle Schwierigkeiten deiner Methode dar.

Durchführung zum Austreiben des Kohlenstoffdioxids

Am einfachsten kann man den Softdrink in einer Schüssel kräftig schlagen. Ebenso ist es möglich, die verschlossene Flasche sehr häufig zu schütteln, sie danach vorsichtig zu öffnen und diesen Prozess so lange zu wiederholen, bis sich beim Schütteln keine Blasen mehr in der Flüssigkeit bilden.

Anmerkung:

Das Entgasen funktioniert auch durch Erhitzen (ca. 15 min. bei 80 °C, ohne kochen zu lassen) und anschließendes Abkühlen. Die aus beiden Vorgehensweisen zur Entgasung resultierenden Werte sind fast identisch zueinander. Ohne Entgasung allerdings weichen die Werte deutlich davon ab. Die durch das Gas verursachte geringere Dichte verfälscht also den mit Hilfe der Methode A oder B ermittelten Zuckergehalt.

Methode A: mittels Küchenwaage (für Klassen 5-7)

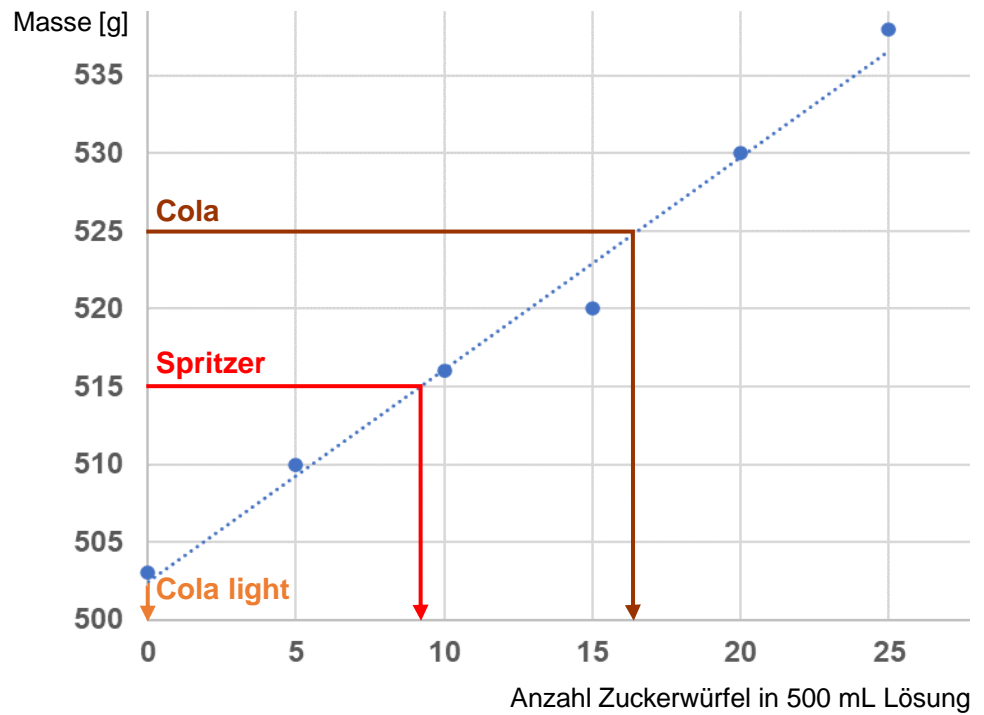
Messwerte

Zunächst bestimmt man die Masse von 500 mL der verschiedenen Zuckerlösungen (und damit letztlich deren Dichte).

	Lösung mit dieser Anzahl Zuckerwürfel					
	0 (Wasser)	5	10	15	20	25
Masse	503 g	510 g	516 g	520 g	530 g	538 g

Diese Werte trägt man in einem Diagramm gegen den Zuckergehalt auf und legt durch die Punkte eine Gerade, so dass die Punkte möglichst wenig davon abweichen.

Diagramm



► Bewertungshinweise:

Die Zahlenwerte in den Wettbewerbsarbeiten können sehr stark von den hier dargestellten abweichen und das Diagramm sogar Zick-Zack-Verläufe aufweisen.

Die Wettbewerbsteilnehmenden erstellen zwar das Koordinatensystem mit den Datenpunkten digital. Es wird aber ohne Punktabzug akzeptiert, wenn die Gerade per Hand eingezeichnet wird oder die Gerade nicht ganz die Ansprüche einer ausgleichenden Regressionsgerade erfüllt.

Anwendung auf Softdrinks

Um damit den Zuckergehalt des Softdrinks zu ermitteln, misst man ebenso die Masse von 500 mL des entsprechenden Softdrinks und ermittelt anhand der Ausgleichsgerade den Zuckergehalt, wie es die farbigen Pfeile im obigen Diagramm symbolisieren:

	Softdrinks (entgast)		
	Cola	Cola light	Spritzer *)
*) Johannisbeere-Spritzer			
Masse	525 g	500 g	515 g
ermittelter Zuckergehalt:			
▪ Zahl Zuckerwürfel in 500 mL (mittels Ausgleichsgerade):	~ 16,5 ZW	0 ZW	~ 9 ZW
▪ Zahl Zuckerwürfel in 1 L (hochgerechnet, also verdoppelt):	33 ZW	0 ZW	18 ZW
▪ Masse Zucker pro L (Faktor: 1 Zuckerwürfel wiegt ca. 3 g):	99 g	0 g	54 g
Vergleich mit Wert auf Etikett (Masse Zucker pro L):	106 g	0 g	59 g

Nährwertangaben je:		
	100ml	250ml (%*)
Brennwert:	180 kJ / 42 kcal	450 kJ / 105 kcal
Fett:	0g	0g (0%)
davon gesättigte Fettsäuren:	0g	0g (0%)
Kohlenhydrate:	10,6g	27g (10%)
davon Zucker:	10,6g	27g (29%)
Eiweiß:	0g	0g (0%)
Salz:	0g	0g (0%)

	ø/100 ml
Energie	107 kJ/26 kcal
Fett	0 g
davon gesättigte Fettsäuren	0 g
Kohlenhydrate	5,9 g
davon Zucker	5,9 g
Eiweiß	0 g
Salz	<0,01 g

Beantwortung der Ausgangsfrage

In 1 L Cola sind ca. 33 Zuckerwürfel gelöst.

Vergleich mit Angaben auf Etikett

Da jeder Zuckerwürfel ca. 3 g wiegt, erhält man aus den Zahlen der obigen Messung: 99 g Zucker sind in 1 L Cola gelöst, auf dem Etikett der hier verwendeten Cola sind 106 g angegeben (zur genauen Rechnung, auch zum Light-Produkt und einem anderen Softdrink: siehe obige Tabelle).

Anmerkung:

Um die Masse eines Zuckerwürfels mittels Küchenwaage mit möglichst geringem Fehler zu bestimmen, legt man am besten wesentlich mehr Zuckerwürfel auf die Waage und teilt die ermittelte Masse durch die Anzahl der Zuckerwürfel.

Beispiele für experimentelle Schwierigkeiten

- Die Unterschiede in den Massen der sechs Zuckerlösungen, mit denen man die Gerade erstellt, sind so gering, dass es auf jedes Gramm ankommt. Der daraus resultierende Fehler lässt sich hier kaum vermeiden, da Küchenwaagen eine gewisse Ungenauigkeit mit sich bringen.
- Falls man die 500 mL der Zuckerlösungen mit einem Gefäß mit recht großer Querschnittsfläche (z. B. Messbecher) abmisst, ist das Volumen mit einem Fehler von ca. 5 mL, also 1 %, verknüpft. Günstiger ist es, wenn man zum Abmessen des Volumens ein Gefäß mit einem engen Hals verwendet (z. B. eine Trinkflasche) und daran die 500 mL markiert.

Methode B: mittels Aräometer (für Klassen 8-10)

Bau des Aräometers

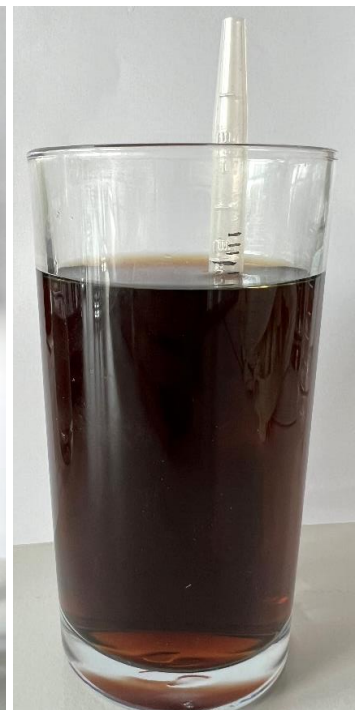
Die genaue Vorgehensweise kann durchaus von folgender Variante abweichen:

Man schneidet die Pipettenspitze an und füllt so viel Sand in die Pipette, dass sie tief genug in die Zuckerlösungen eintaucht, aber noch schwimmt und oben keine Flüssigkeit eindringt. Wenn man ganz sichergehen möchte, kann man die Pipettenöffnung mit etwas Klebeband schließen.

Auf der Pipette markiert man mit einem wasserfesten Stift eine Skala, z. B. durch Übertragung einer Millimeterskala oder durch Aufteilung des Abstands zwischen dem 2 mL- und 3 mL-Eindruck in kleinere Zehnerschritte (wie auf dem Foto). Nach dem Eintauchen in die Lösung liest man den Wert an der erstellten Skala ab.



in Lösung aus 5 Zuckerwürfel pro 500 mL



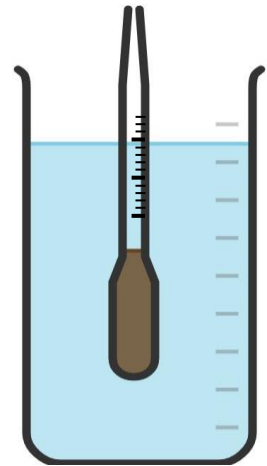
in zuckerhaltiger Cola

digital erstellte Versuchsskizze

► Bewertungshinweis:

Die Markierungen auf der Pipette wurden nachträglich im Textverarbeitungsprogramm hinzugefügt und werden von den Wettbewerbsteilnehmenden nicht verlangt.

Die Pipette ist unter <https://chemix.org> nur schwer zu finden, so dass genauso ein Reagenzglas o.Ä. akzeptiert wird.



Anmerkung:

Einem Aräometer liegt folgende Idee zugrunde (eine Dokumentation der Idee war ausdrücklich nicht verlangt):

Mit einem Aräometer lässt sich die Dichte von Flüssigkeiten bestimmen. Es besteht üblicherweise aus einem mit etwas Blei gefüllten Glasrohr mit einer Skala zum Ablesen der Dichten. Die Dichte der Zuckerlösung ist von deren Konzentration abhängig: Je größer die Zuckerkonzentration ist, desto höher ist die Dichte und desto weniger tief taucht das Aräometer in die Flüssigkeit ein.

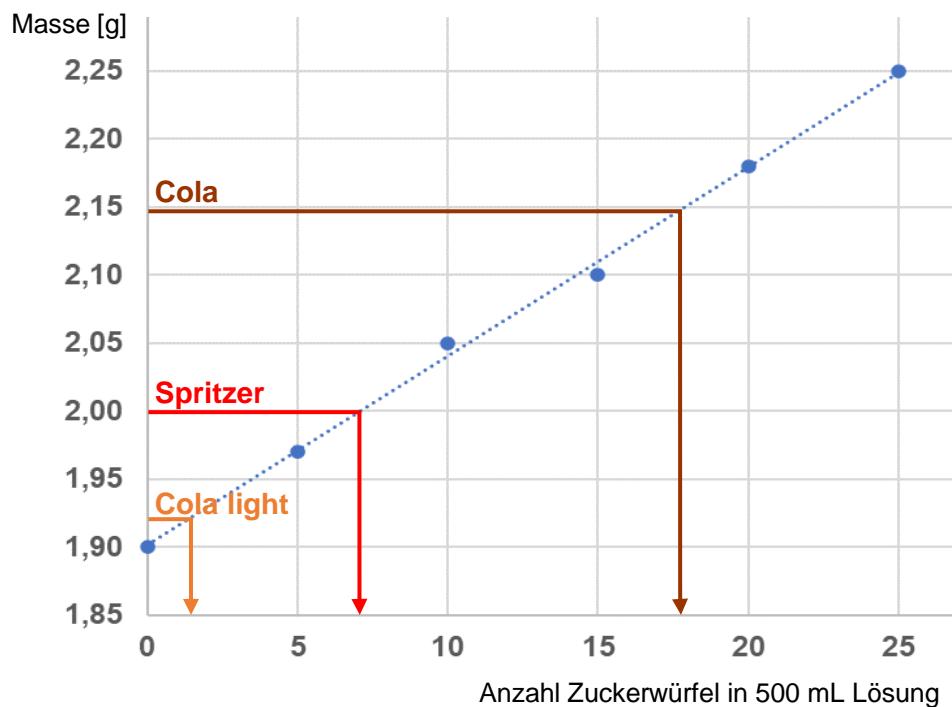
Messwerte

Zum Kalibrieren des Aräometers taucht man es zuerst in Zuckerlösungen bekannter Konzentration ein. Mit der oben beschriebenen Variante erhält man an der Skala folgende Messwerte, die nur beispielhaft sein können, weil sie von der Sandmenge abhängen:

zur Kalibrierung: Lösung mit dieser Anzahl Zuckerwürfel						
	0 (Wasser)	5	10	15	20	25
Wert auf Skala	1,90	1,97	2,05	2,10	2,18	2,25

Diese Werte trägt man in einem Diagramm gegen den Zuckergehalt auf und legt durch die Punkte eine Gerade, so dass die Punkte möglichst wenig davon abweichen.

Diagramm



► **Bewertungshinweis:**

Die Zahlenwerte in den Wettbewerbsarbeiten können sehr stark von den hier dargestellten abweichen und das Diagramm sogar Zick-Zack-Verläufe aufweisen.

Die Wettbewerbsteilnehmenden erstellen zwar das Koordinatensystem mit den Datenpunkten digital. Es wird aber ohne Punktabzug akzeptiert, wenn die Gerade per Hand eingezeichnet wird oder die Gerade nicht ganz die Ansprüche einer ausgleichenden Regressionsgerade erfüllt.

Auswertung

Um damit den Zuckergehalt des Softdrinks zu ermitteln, taucht man das Aräometer in das Glas mit dem entsprechenden Softdrink, liest den Wert anhand der Skala ab und ermittelt anhand der Ausgleichsgerade den Zuckergehalt, wie es die farbigen Pfeile im obigen Diagramm symbolisieren:

	Softdrinks (entgast)		
	Cola	Cola light	Spritzer *)
*) Johannisbeere-Spritzer			
Wert auf Skala	2,15	1,92	2,00
ermittelter Zuckergehalt:			
▪ Zahl Zuckerwürfel in 500 mL (mittels Ausgleichsgerade):	~ 18 ZW	~ 1 ZW	~ 7 ZW
▪ Zahl Zuckerwürfel in 1 L (hochgerechnet, also verdoppelt):	36 ZW	2 ZW	14 ZW
▪ Masse Zucker pro L (Faktor: 1 Zuckerwürfel wiegt ca. 3 g):	108 g	6 g	42 g
Vergleich mit Wert auf Etikett (Masse Zucker pro Liter):	106 g	0 g	59 g

Beantwortung der Ausgangsfrage

In 1 L Cola sind ca. 36 Würfelzucker gelöst.

Vergleich mit Angaben auf Etikett

Da jeder Zuckerwürfel ca. 3 g wiegt, erhält man aus den Zahlen der obigen Messung:

108 g Zucker in 1 L Cola, auf dem Etikett der hier verwendeten Cola sind 106 g angegeben.

(zur genauen Rechnung, auch zum Light-Produkt und einem anderen Softdrink: siehe obige Tabelle)

Beispiel für experimentelle Schwierigkeiten

- Die Eintauchtiefen variieren so wenig, dass sich entsprechend auch die Werte auf der Skala nur gering unterscheiden.

Auftrag 2: Farbstoffgehalt „Schwarz. Schön. Stark.“

Wie viel Zuckerkulör, die schwarze Lebensmittelfarbe E 150, steckt in Cola?

Hierzu misst du mit Apps, wie sich die Helligkeit durchgestrahlten Lichts – je nach Farbgehalt – verändert. Die Methode wurde in der Zeitschrift CHEMKON in einem Video vorgestellt, das du dir auf unserer Internetseite ansiehst. Diese Versuchsdurchführung überträgst du auf Cola und Cola light – wie unten beschrieben. Beantworte damit die Ausgangsfrage und stelle experimentelle Schwierigkeiten der Methode dar.

Übertragung auf Cola:

- Gehe nicht von Fruchtsaft aus, sondern von einer Zuckerkulör-Lösung mit einem Gehalt von 1 Vol.-%. Stelle diese Lösung mit einer Einweg-Tropfpipette her (z. B. 3 mL Zuckerkulör mit Wasser auf 300 mL auffüllen). Erzeuge hieraus dann die vier verdünnten Probelösungen (50 % - 25 % - 12,5 % - 6,25 %).
- Du benötigst zwei kostenlose Apps (auf Smartphone oder Tablet):
 1. für die Farbmessung (RGB: Rot, Grün, Blau, L: Lightness): ColorAssist Lite (iOS) bzw. Color Grab (Android)
 2. für weiß leuchtenden Untergrund mit maximaler Helligkeit: Nachlicht (iOS) bzw. Screen Flashlight (Android); das weiße Display kannst du auch durch andere Apps erzeugen (z. B. mittels „Notizen“, Word-Dokument).
- Verwende Trinkgläser (oder transparente Plastikbecher) mit dünnem, gleichmäßigem Boden. Fülle die Flüssigkeit jeweils nur 5 cm hoch ein. Miss immer unter denselben Bedingungen (z. B. geringer seitlicher Lichteinfall, Positionierung des Messfensters der Farb-App). Stütze dein Handy ab und arbeite sauber.
- Lege eine Kurve sinnvoll durch die Punkte aller vier (statt drei) Probelösungen, erwarte aber keine Gerade. Bestimme dann den Messwert von Cola und von Cola light (entgast) und vergleiche sie im Diagramm.

Durchführung:

s. Video und Aufgabentext: Hierzu werden Ergänzungen erwartet.

Anmerkung:

Der Lightness-Wert ist – wie die Summe der RGB-Werte – ein Maß für die Gesamthelligkeit der jeweiligen Probe [siehe [4], S. 124]. Dieser Wert ist für die Untersuchung von Cola in diesen Klassenstufen hinreichend, anstatt das Licht der Komplementärfarbe zu wählen.

Messwerte mit App ColorAssist Lite (iOS)

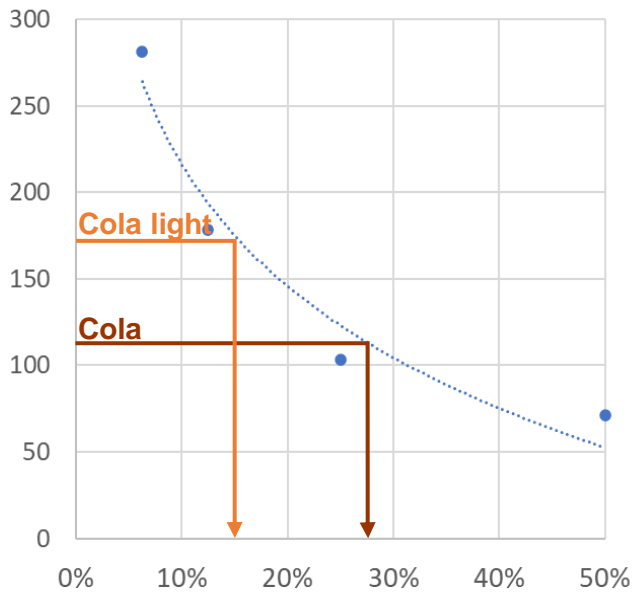
	Probelösungen				Softdrinks			
	6,25 %	12,5 %	25 %	50 %	Cola (entgast)	Cola light	zum Vergleich:	
							Cola zero	Cola (mit Gas)
R	191	147	84	33	83	127	105	77
G	90	31	7	18	14	29	12	9
B	0	0	12	20	15	16	13	8
Summe RGB	281	178	103	71	112	172	130	94
L (lightness)	37	28	17	10	19	28	22	16

Messwerte mit App Color Grab (Android)

	Probelösungen				Softdrinks			
	6,25 %	12,5 %	25 %	50 %	Cola (entgast)	Cola light	zum Vergleich:	
							Cola zero	Cola (mit Gas)
R	235	196	120	31	100	140	118	91
G	133	45	0	7	0	13	0	0
B	0	0	0	15	0	0	0	0
Summe RGB	368	241	120	53	100	153	118	91
L (lightness)	46	38	24	7	20	27	23	18

Diagramm zu den Ergebnissen mit App ColorAssist Lite (iOS)

Summe RGB



Wert L (lightness)

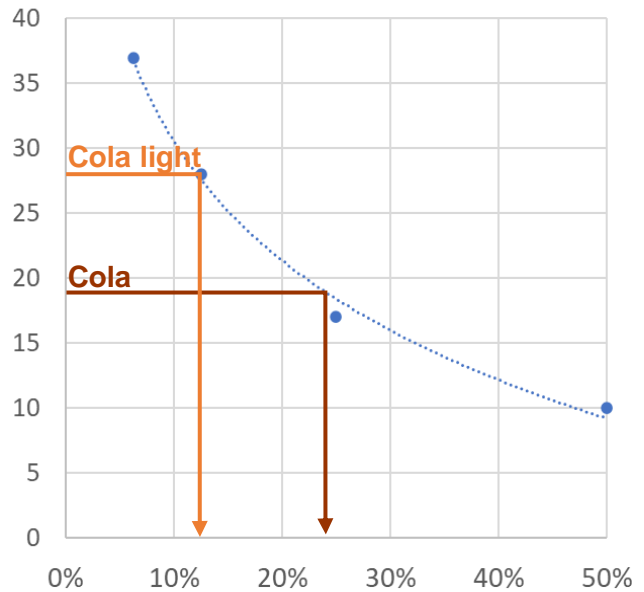
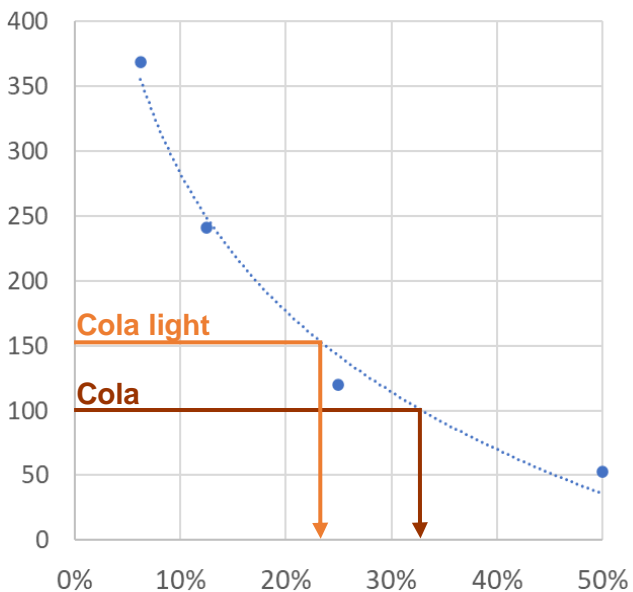
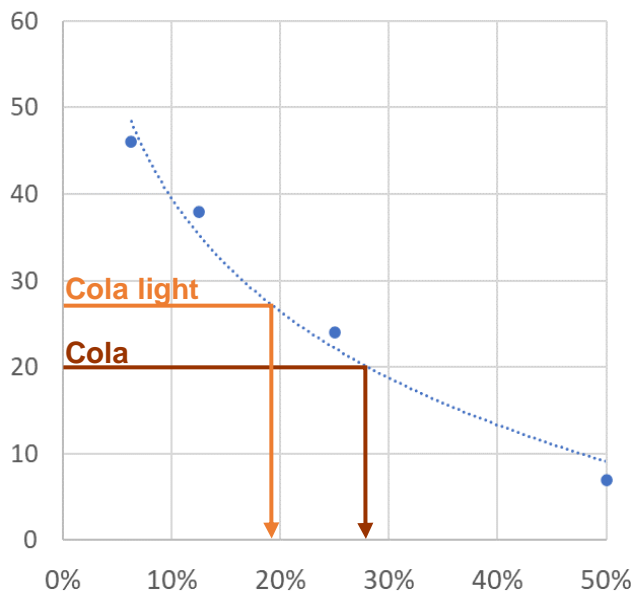


Diagramm zu den Ergebnissen mit App Color Grab (Android)

Summe RGB



Wert L (lightness)



Die Tendenz der Werte lässt sich mit einer Ausgleichskurve darstellen. Der Wert der jeweiligen Cola-Probe (Summe der RGB-Werte bzw. L-Wert) ist ebenfalls im Diagramm auf der y-Achse markiert, um daraus den zugehörigen, aber noch unbekanntem Zuckerulör-Gehalt grafisch auf der x-Achse ablesen zu können, wie es die farbigen Pfeile symbolisieren.

► **Bewertungshinweise:**

Von den Wettbewerbsteilnehmenden wird nur **ein** Diagramm erwartet.

Die dargestellten Messwerte sind nicht repräsentativ, da sie abhängig sind von den Trinkgläsern und deren Höhe (und damit vom Abstand des messenden Smartphones vom weiß leuchtenden Display), von den verwendeten Produktmarken, aber vor allem von der Helligkeit des weiß leuchtenden Displays. Entscheidend sind daher die Tendenzen, die im Grafen deutlich werden.

Es ist den Wettbewerbsteilnehmenden freigestellt, den Grafen entweder per Hand oder digital zu erstellen, da einerseits im Video die Variante per Hand gewählt wird und andererseits das Anlegen einer Regressionskurve in einer Tabellenkalkulation knifflig und mit einer Funktionsgleichung verbunden ist. Da im Film ein linearer Verlauf suggeriert wird, wird ebenfalls ohne Bewertungsabzug akzeptiert, wenn die Punkte mit einer Geraden verbunden werden. Innerhalb gewisser Messgrenzen bzw. Verdünnungen kann sich durchaus ein Verlauf ergeben, der näherungsweise einer Geraden gleicht, obgleich die x- und y-Achse als Asymptoten zu einer ins Unendliche gedachten Extrapolation im Sinne einer 0 %igen bzw. 100 %igen Verdünnung aufgefasst werden müssten. Wie schon in Auftrag 1 wird auch hier das streckenweise Verbinden der Punkte anerkannt.

Beantwortung der Ausgangsfrage

Die Berechnung des Zuckerkulör-Gehalts wird beispielhaft am ersten Grafen (Auftragung der Summe der RGB-Werte aus der App ColorAssist Lite) zu Cola beschrieben:

28 % wird auf der x-Achse abgelesen. Cola enthält demzufolge genauso viel Zuckerkulör wie die auf 28 % verdünnte Ausgangslösung.

In dieser Ausgangslösung ist 1 mL Zuckerkulör in 100 mL Lösung enthalten (1 Vol.-%), in der auf 28 % verdünnten Lösung also nur noch 0,28 mL Zuckerkulör in 100 mL Lösung.

Bezogen auf 1 L bedeutet dies: In 1 L Cola sind 2,8 mL Zuckerkulör enthalten.

Vergleicht man die obigen vier Diagramme, von denen die Wettbewerbsteilnehmenden nur eines erstellen, so erhält man die folgenden vier Werte in 1 L Cola:

Volumen Zuckerkulör in 1 L Cola	Cola (entgast)	Cola light	zum Vergleich:	
			Cola zero	Cola (mit Gas)
Diagramm 1	2,8 mL	1,6 mL	2,3 mL	3,3 mL
Diagramm 2	2,4 mL	1,2 mL	1,9 mL	3,0 mL
Diagramm 3	3,3 mL	2,3 mL	2,9 mL	3,5 mL
Diagramm 4	2,8 mL	1,9 mL	2,4 mL	3,1 mL
Durchschnitt	2,8 mL	1,8 mL	2,4 mL	3,2 mL

Anmerkungen:

Zum Vergleich wurden auch die Werte für Cola zero und für eine nicht-entgaste Cola ermittelt, am Diagramm abgelesen, berechnet und in die Tabelle eingetragen. Daran erkennt man:

- Durch das Entgasen steigt der RGB- bzw. L-Wert ein wenig, d. h. die Lösung wird etwas dunkler. Das Mischen mit Gas führt umgekehrt zur Farbaufhellung.
- Die zuckerfreien Cola-Varianten unterscheiden sich in der Farbintensität voneinander. Bei den obigen Messwerten handelt es sich um zwei verschiedene Produkte eines Anbieters (light vs. zero). Es liegt die Interpretation nahe, dass man bei der Light-Variante optisch eine hellere Farbe, die leichter und kalorienärmer wirkt, erzeugen wollte, während man bei der Herstellung der zero-Variante möglichst nahe den Geschmack der Original-Cola zu imitieren versuchte und daher auch in der Farbe wieder auf den kräftigeren Ton setzte. Das sind aber nur Vermutungen...

► Bewertungshinweise:

Es kann sein, dass die Wettbewerbsteilnehmende die Frage, wie viel Zuckerkulör in Cola stecke, hier mit Prozenten beantworten, etwa in der Art: „26 Vol.-% Zuckerkulör steckt in einer 1 Vol.-%igen Cola-Lösung“. Spätestens in Aufgabe 3a) muss jedoch die Umrechnung in mL erfolgen. Geschieht dies in 3a), ist es in der Bewertung von Aufgabe 2 positiv zu berücksichtigen.

Beispiele für experimentelle Schwierigkeiten

- Generell sind die Werte zwar tendenziell reproduzierbar, es gibt aber immer einige Abweichungen – trotz der ergriffenen Vorsichtsmaßnahmen (wie Füllhöhe) und der Forderung zur Einhaltung konstanter Bedingungen (wie seitlicher Lichteinfall). Es ist also nicht außergewöhnlich, dass einer der vier Werte stark von der Ausgleichskurve abweicht.
- Auch Schwierigkeiten im Handling (z. B. Abstützen des Handys) können hier angeführt werden.

Auftrag 3: eigener Softdrink „Taste the Feeling“

a) Gesundheit

Ermittle mögliche gesundheitliche Folgen des übermäßigen Konsums von Zucker und von Zuckerkulör.
 Recherchiere zu beiden Stoffen die maximal empfohlene Tagesdosis. Schätze aus deinen Ergebnissen (aus Auftrag 1 und 2) ab, mit wie viel Litern Cola du diese Tagesdosis jeweils erreichen würdest (Dichte von Zuckerkulör: 1,2 g/mL).

	Zucker	Zuckerkulör
gesundheitliche Folgen	<p>Übermäßiger Verzehr von Zucker wird für eine Reihe ernährungsbedingter Krankheiten verantwortlich gemacht, die sich teilweise gegenseitig verstärken:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zahnkaries ▪ Übergewicht und Adipositas ▪ Bluthochdruck und Herz-Kreislaufkrankungen ▪ Beeinflussung der Darmflora und Stoffwechselstörungen ▪ Schlafstörungen ▪ Antriebslosigkeit und Konzentrationsschwäche ▪ Depressionen ▪ Diabetes mellitus Typ 2, beruhend auf einer entwickelten Insulinresistenz ▪ Metabolisches Syndrom (ein Bündel von Krankheiten, u. a. Schlaganfall) ▪ Auffälligkeiten in den Blutfettwerten (Dyslipidämie) ▪ Fettleber ▪ Gicht ▪ Autoimmunerkrankungen (z. B. Rheuma, Schilddrüsenerkrankungen wie Hashimoto Thyreoiditis) <p>Diskutiert wird zudem, ob Zucker als Risikofaktor für folgende Krankheiten gilt:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Osteoporose und degenerativen Gelenkerkrankungen ▪ Krebs ▪ Zuckersucht <p>Widerlegt zu sein schein dagegen der Zusammenhang zwischen Hyperaktivität (ADHS) und Zuckerkonsum.</p>	<p>In Wikipedia ist zu lesen: „Zuckercoleure gelten als gesundheitlich unbedenklich.“</p> <p>Schaut man differenzierter hin, werden mögliche gesundheitliche Risiken der Substanz 4-Methylimidazol (4-MEI) diskutiert, die bei der Herstellung bestimmter Zuckerkulöre in geringen Mengen als Verunreinigung entstehen kann und die in Studien an Mäusen kanzerogene Wirkungen hervorruft. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) und die International Agency for Research on Cancer (IARC) gelangten 2011 zu der Auffassung, dass die Aufnahme von 4-MEI über den Verzehr von Lebensmitteln, die mit Zuckerkulör gefärbt sind, <i>unter Beachtung der Höchstmengen</i> gesundheitlich unbedenklich ist. Daher wird in Europa zwar ein ADI-Wert definiert (s. u.), Zuckerkulör – und damit auch 4-MEI – ist jedoch ohne Mengenbeschränkung zugelassen (im Gegensatz etwa zur strengeren Einschätzung der Gesundheitsbehörde Kaliforniens, wo Produkte, die mehr als 29 µg 4-MEI pro Tagesdosis enthalten, bereits einen entsprechenden Hinweis auf dem Etikett führen müssen, siehe [13]).</p> <p>Wie sieht es beim Verzehr über die Höchstmenge hinausgehender Mengen aus? Die IARC hat 4-MEI als „<i>möglicherweise krebserregend</i> für den Menschen“ eingestuft. Zudem änderten die Hersteller ihre Produktionsweise, um einen niedrigeren Grenzwert für 4-MEI einzuhalten.</p>

<p>maximal empfohlene Tagesdosis</p>	<p><i>Je nach Gremium und Jahreszahl der Veröffentlichung weichen die empfohlenen Höchstmengen vor allem von Zucker voneinander ab. Wir geben daher mehrere Möglichkeiten an, die eine Internetrecherche offenbaren. Alle diese Varianten werden in der Bewertung akzeptiert, so dass die daraus berechnete Cola-Menge ebenfalls unterschiedlich ausfallen kann. Die maximal empfohlene Tagesdosis bezieht sich i. A. auf den sogenannten „freien Zucker“, der Speisen und Getränken zugefügt wird oder in Honig, Sirup, Fruchtsaftkonzentraten und Fruchtsäften natürlich vorkommt.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Der am häufigsten im Internet vertretene Wert lautet: 10 % der Gesamtkalorienaufnahme, entspricht ca. 50 g bei durchschnittlichen Erwachsenen mit 2000 kcal, aber nur ca. 30 g für Kinder bis 3 Jahre oder 42 g für Kinder von 7–10 Jahren (2015 WHO, 2018 Deutsche Adipositas-Gesellschaft, Deutsche Diabetes Gesellschaft und Deutsche Gesellschaft für Ernährung) ▪ Auf 5 % statt 10 % reduzierte die WHO die Tagesdosis im Jahr 2022, entspricht ca. 25 g bei 2000 kcal (2022 WHO, übrigens: 1 g Zucker hat 4 kcal.) ▪ 30 g für Frauen, 45 g für Männer (2009 American Heart Association) ▪ 90 g für Frauen, 110 g für Männer (GDA, Guideline Daily Amount) <p>Hierbei handelt es sich aber um die auf vorverpackten Lebensmitteln angegebene, freiwillige Nährwertkennzeichnung, die nicht nur „freien Zucker“, sondern auch den in Obst, Gemüse, Milch oder Milchprodukten natürlich vorkommenden Zucker einbezieht. (Angenommen werden 2000 kcal bei Frauen, 2500 kcal bei Männern.)</p>	<p>300 mg pro kg Körpergewicht und Tag (EFSA)</p> <p>Hierbei handelt es sich um den sogenannten ADI-Wert (= akzeptable tägliche Aufnahmemenge, Acceptable Daily Intake) laut EFSA. Er bezieht sich auf die Gesamtmenge der vier Zuckerkulöre (E 150 a bis d), wobei in Cola E 150d (Ammoniumsulfid-Zuckerkulör) zur Anwendung kommt. (Speziell das gesundheitsbedenklichere E 150c sollen höchstens 100 mg der genannten 300 mg ausmachen.)</p>
	<p>Cola-Volumen gemäß max. Tagesdosis</p>	<p>Für die Berechnung werden zugrunde gelegt:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 100 g Zucker pro L Cola (als Ergebnis aus Auftrag 1) ▪ 25 g als maximale Tagesdosis (WHO-Empfehlung bei 2000 kcal) <p>Dann sollte man maximal $\frac{1}{4}$ L = 250 mL Cola am Tag trinken (also etwa nur ein gut gefülltes Trinkglas), wenn man ansonsten keinerlei Zucker zu sich nähme.</p> <p>⇒ <i>Im Vergleich zu Zuckerkulör (s. rechts) wäre damit Zucker der limitierende Faktor: Bis 250 mL Cola könnte man beide Höchstmengen einhalten.</i></p>

Auftrag 3: eigener Softdrink „Taste the Feeling“

b) Herstellung des Softdrinks

Gelingt es dir, selbst einen leckeren Softdrink zu kreieren, der weniger gesundheitsbedenklich als Cola ist?

Stelle zunächst aus Sprudel eine Lösung her, die so viel Zucker und Zuckerkulör enthält, wie du für Cola herausgefunden hast. Versuche durch schrittweise Zugabe von Zitronensäure-Pulver (alternativ: Zitronensaft), möglichst nah an den Geschmack von Cola heranzukommen. Untersuche dann, wie weit man diese Lösung verdünnen kann, so dass sie dir noch schmeckt. Verbessere schließlich das Aroma durch weitere Lebensmittelzusätze deiner Wahl. Führe die Geschmacksproben mit geringen Mengen durch.

Gestalte das Rezept für deine beste Mischung digital und verwende es als Deckblatt deiner Arbeit.

Die folgenden Angaben zum Geschmacksempfinden sind subjektiv und können bei den Wettbewerbsteilnehmenden unterschiedlich ausfallen.

Schritt 1: Grundmischung

Durchführung:

Die mit Cola vergleichbare Lösung hat in 1 Liter laut Auftrag 1 und 2 einen

- Zucker-Gehalt von ca. 100 g,
- Zuckerkulör-Gehalt von ca. 2,5 mL.

Man misst also diese beiden Mengen ab (Zuckerkulör wieder mit einer Tropfpipette) und füllt die Mischung mit Sprudel auf 1 Liter auf.

Beobachtungen:

Die Mischung schmeckt zwar süß, aber nicht unbedingt widerwärtig, vor allem wenn man gekühlten Sprudel mit einem hohen Kohlensäure-Anteil verwendet.

Schritt 2: Zugabe von Zitronensäure oder -saft

(1) *Beobachtungen zur Variante Zitronensäure-Pulver*

Von der Zitronensäure benötigt man maximal eine kleine Messerspitze als Zugabe zu 20 mL der Grundmischung aus Schritt 1. Der Vorteil der Zitronensäure statt Zitronensaft besteht darin, dass sie nicht nach Zitronen riecht oder schmeckt und somit die Mischung noch besser an Cola heranreicht.

(2) *Beobachtungen zur Variante Zitronensaft*

Bei einem Mischungsverhältnis von 20 : 1 der Grundmischung im Verhältnis zu Zitronensaft empfinden wir den Geschmack am besten an Cola angenähert, also bei Zugabe von 1 mL Zitronensaft zu 20 mL der Grundmischung.

Die festgestellte Süße der selbst gemischten Ausgangsbasis zeigt deutlich die „Übersüßung“ der Softdrinks, da die zugesetzten Säuerungsmittel das Empfinden für den süßen Geschmack kompensieren. Die Süßempfindung hängt also nicht nur von der zugesetzten Zuckermenge, sondern von den weiteren Inhaltsstoffen ab.

Schritt 3: Verdünnung

Durchführung:

Man verdünnt die Lösung aus Schritt 2 sukzessive mit Wasser und führt zwischendurch Kostproben durch.

Beobachtungen:

- Der Geschmack ist unserer Ansicht nach noch intensiv genug, wenn man noch einmal die Hälfte an Sprudel zur Mischung aus Schritt 2 hinzugibt, also z. B. 50 mL Sprudel zu 100 mL der Mischung.

- Mehr als dieselbe Menge Sprudel zur Mischung aus Schritt 2 sollte man allerdings nicht hinzugeben. Bei einer weiteren Verdünnung schmeckt die Lösung unseres Erachtens zu fade, d. h.: Bei 100 mL Sprudel zu 100 mL der Mischung ist die Grenze erreicht.

Eventuell wirkt sich bei manchen Personen auch die Farbintensität auf den Geschmack aus. Entweder: Je dunkler, umso kräftiger wird Cola empfunden. Oder umgekehrt: Das in der Verdünnung immer gelblicher erscheinende Getränk wird als angenehmer wahrgenommen.

Schritt 4: Aroma

Durchführung:

Hier können die Wettbewerbsteilnehmer kreativ sein und ihrem subjektiven Geschmack nachgehen.

Beobachtungen:

Es sind stets nur kleine Mengen zu verwenden, um den Grundgeschmack nicht zu verfälschen.

- empfehlenswert: Ingwerpulver, Salz
- je nach Geschmack: Zimtpulver, Vanillearoma, Orangenaroma
Fruchtsaft (z. B. Kirschsafte zur Imitation des Cherry-Geschmacks)
- ungünstig im Geschmack: Bittermandel (aus Backabteilung),
getrocknetes Orangenschalen-Pulver (interessanter Geschmack,
führt aber zu festen Körnern in Cola)

Anmerkungen:

- In Cola sind laut [3] natürliche Aromastoffe für die olfaktorische Wahrnehmung (Geschmack bzw. Duft) aus Ingwer, Orangenblüten, Johanniskraut, Limettenschalen und Extrakten der Cola-Nuß enthalten, außerdem Salz zur Kontrastierung der Süße.
- Zuckerkulör wird zwar als Farbstoff zugesetzt, wirkt aber außerdem süßend, was sich durch die Herstellung erklären lässt. In Cola wird der süße Geschmack durch mehrere Faktoren abgeschwächt: Zum einen durch zugesetzte Säuren wie Zitronen- und vor allem Phosphorsäure (s. Schritt 2), zum anderen durch die Gewohnheit, Cola kalt zu trinken; denn gekühlte Getränke werden gewöhnlich als weniger süß empfunden als ungekühlte.
- Zuckerkulör kann man in der Küche selbst herstellen, indem man Zucker bis zur Braunfärbung schmilzt und dann mit heißem Wasser ablöscht. Im Internet findet man leicht Rezepte. Für die Experimente des Wettbewerbs eignen sich diese jedoch aus mehreren Gründen nicht:
Der extrem heiße Zucker und die Spritzgefahr des Wassers bei Hinzugabe führen zu gravierenden Sicherheitsrisiken für die Schülerinnen und Schüler der 5.-10. Klasse. Zudem ist die Braunfärbung, die erzielt werden soll und besonders für Auftrag 2 relevant ist, schwer abzuschätzen und das selbst hergestellte Zuckerkulör führt beim Auflösen in Wasser zu nicht-reproduzierbaren Farbnuancen. Auch die Verdünnung fällt, je nach Dauer des Einkochens, uneinheitlich aus. Und schließlich ist die Konsistenz der sich abkühlenden Schmelze nicht vorherzusehen, so dass im Falle der Zähflüssigkeit das Abmessen mit der Tropfpipette nicht zu gewährleisten ist.

Deckblatt

Unser Lieblingsrezept sähe – reduziert formuliert – beispielsweise so aus:

- Fülle 100 g Zucker und 2,5 mL Zuckerkulör mit Sprudel auf einen Liter auf.
- Füge 50 mL Zitronensaft hinzu.
- Gib eine Prise Ingwerpulver und Salz sowie ½ TL Orangenaroma hinzu.

Bei der ästhetischen Gestaltung des Deckblatts sind der Kreativität keine Grenzen gesetzt.

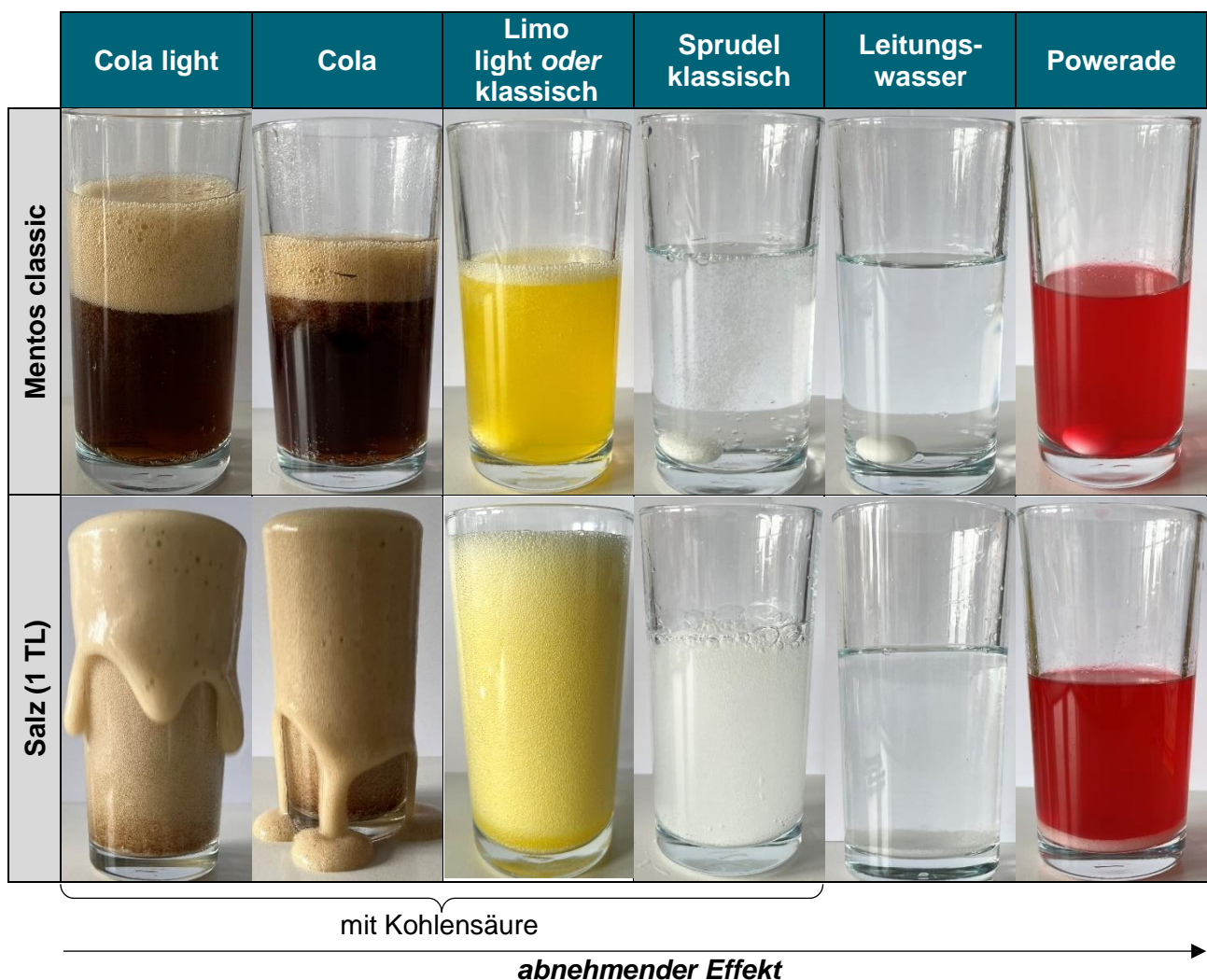
Auftrag 4: Mentos-Fontäne „spritzig – schwungvoll – ganz groß“

a) Untersuchung der Variablen

Informiere dich im Internet zum Experiment „Cola-Mentos-Fontäne“. Erforsche zunächst sparsam und mit geringen Mengen (z. B. halb gefülltes Trinkglas), welche Flüssigkeiten (z. B. Cola, Cola light, weiterer Softdrink) und welche Zusätze (z. B. Mentos classic, Mentos zuckerfrei, weitere Süßigkeit, Zucker, Sand) für die Fontäne besonders geeignet sein könnten.

Durchführung mit kleinen Mengen (hier in einem 0,2 L-Trinkglas mit jeweils ca. 100 mL Flüssigkeit und 1 Mentos-Tablette bzw. vergleichbare Menge einer alternativen zugeführten Substanz)

(1) Untersuchung der Abhängigkeit vom Getränk



zu beobachtende Tendenzen

► **Bewertungshinweis:**

Von den Wettbewerbsteilnehmenden müssen über Einzelbeobachtungen hinaus auch Tendenzen bzw. Auffälligkeiten beim Vergleich aufgedeckt und formuliert werden, auch wenn dies nicht so umfassend – wie im Folgenden dargestellt – erfolgen muss.

- **Einfluss der Kohlensäure**

Die Kohlensäure hat einen positiven Effekt: In allen kohlenensäurehaltigen Getränken kann man mit einer Mentos classic-Tablette ein Sprudeln hervorrufen. Direkt vergleichbar ist dieser Einfluss bei Verwendung von Wasser: Mit kohlenensäurehaltigem Mineralwasser bilden sich an der Mentos-Tablette kleine Bläschen, in Leitungswasser dagegen nicht. Bei Sprudel medium (kein Foto in der Tabelle) stellt sich tatsächlich ein Effekt dazwischen ein. Bei Verwendung von Salz statt Mentos ist der Unterschied viel deutlicher zu sehen; denn damit bilden sich die Blasen so intensiv, dass das kohlenensäurehaltige Mineralwasser trüb wird und an der Oberfläche kräftig sprudelt. In den anderen kohlenensäurehaltigen Softdrinks wirkt das Sprudeln noch heftiger und es entsteht, bedingt durch die anderen Zusätze, zusätzlich Schaum. Dieser fällt mit Salz sogar so groß aus, dass die Mischung überläuft. Im Gegensatz dazu regt sich in Powerade (wie in Leitungswasser) nichts.

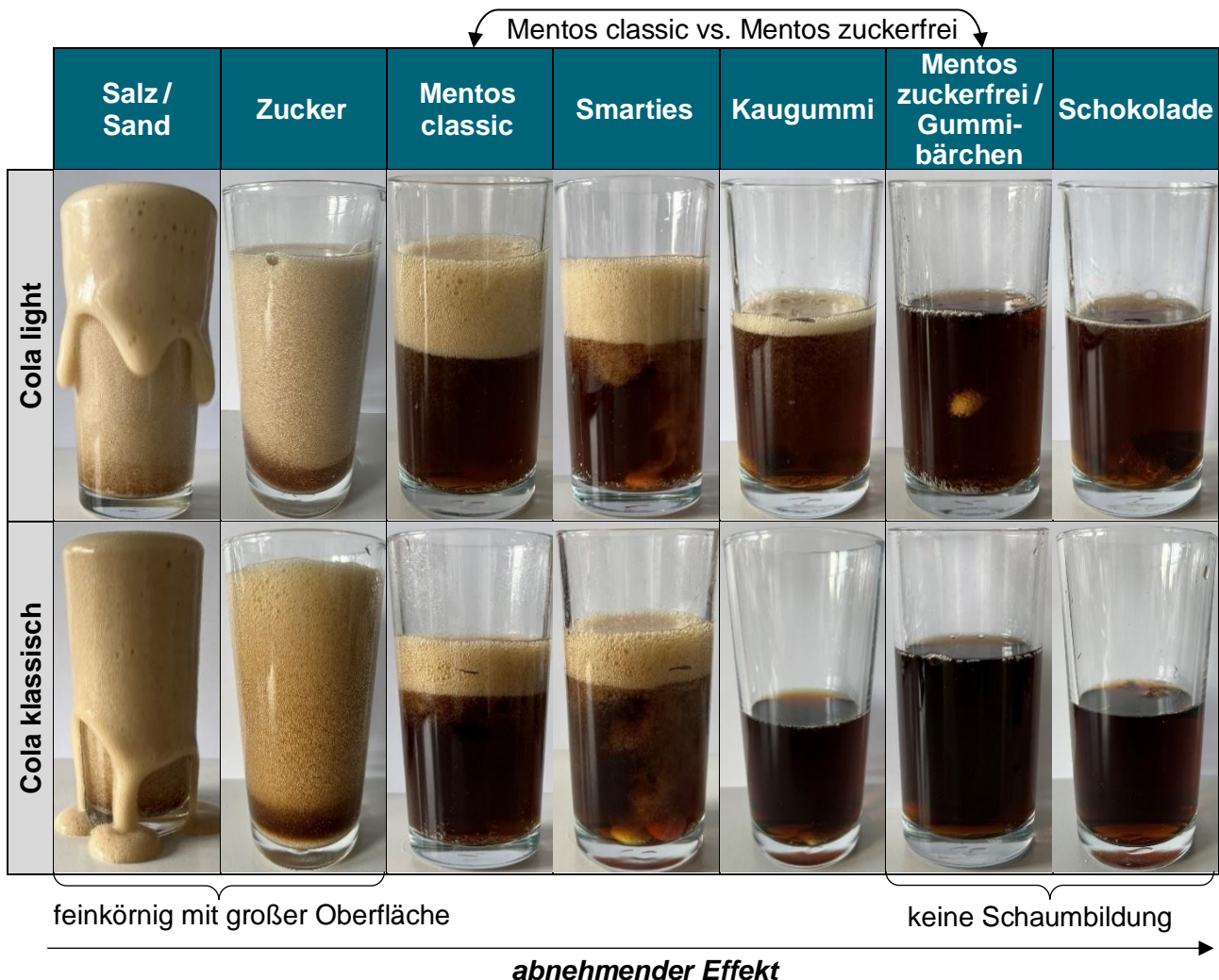
- **Einfluss des Süßstoffs in der Flüssigkeit**

Der Effekt durch eine Mentos classic-Tablette ist bei Cola light wesentlich größer als bei zuckerhaltiger Cola: Die maximale Schaumkrone ist beim Light-Getränk etwa so hoch wie der Flüssigkeitsstand und erreicht im Vergleich zur zuckerhaltigen Cola beinahe die dreifache Höhe. Dies legt zunächst die Vermutung nahe, dass der in Cola light enthaltene Süßstoff maßgeblich ist. Dagegen spricht allerdings, dass sich bei der Orangenlimonade zwischen der zuckerhaltigen und zuckerfreien Varianten kein gravierender Unterschied zeigt.

Anmerkung:

Angeblich soll laut [16] nicht der Süßstoff an sich entscheidend sein, sondern der Zuckergehalt der Flüssigkeit. Je höher dieser ist, desto besser würden die einzelnen Teilchen des Kohlendioxids gelöst bleiben. Dadurch sei in normaler Cola die Blasenbildung an der Oberfläche der Mentos-Bonbons viel geringer und die Explosion deshalb nicht halb so spektakulär. Kursierende Gerüchte, wonach der künstliche Süßstoff der Light-Produkte mit den Aromastoffen der Mentos-Bonbons eine explosive Mischung erzeugen soll, haben sich wohl als falsch erwiesen. Allerdings liefern beide Theorieansätze keine Erklärung für die Orangenlimonade.

(2) Untersuchung der Abhängigkeit vom zugeführten Stoff



zu beobachtende Tendenzen

- *Einfluss der zugegebenen Süßigkeit*

Nicht nur mit Mentos classic, sondern auch mit einigen anderen Süßigkeiten wird in Cola light ein deutliches Sprudeln samt Schaumkrone erzeugt. In unseren Versuchen überzeugen vor allem Smarties, die jedoch in ihrer Wirkung und in der Schnelligkeit der Reaktion nicht an die Mentos classic-Tabletten in Cola light heranreichen. Zuckerfreie Mentos (mit Süßstoffen) wirken erstaunlicherweise fast gar nicht – ganz im Gegensatz zum in (1) herausgestellten Einfluss des Getränks, wonach die light-Variante eindeutig zu bevorzugen ist. Mit zuckerfreien Mentos vergleichbar ist der geringe Effekt mit Gummibärchen. Mit Schokolade passiert gar nichts.

- *Einfluss der Oberfläche des zugeführten Stoffes*

Im Vergleich zu den bisher genannten Faktoren scheint die Oberfläche des zugeführten Stoffes den größten Einfluss zu haben: Mit körnigem Sand oder Salz kann der Schaum über der Flüssigkeit sogar so groß werden, dass er über den Glasrand hinaus fließt. Auch mit Zucker ist der Effekt überzeugend, aber nicht ganz so stark wie mit Salz oder Sand. Da dies in Limonade nicht so heftig wie in Cola light ausfällt, lässt sich differenzieren, dass Salz noch intensiver als Sand wirkt.

Die folgende Fotoserie zeigt den zeitlichen Verlauf bei Zugabe von Salz zu Cola light:



zeitlicher Verlauf →

zum Vergleich:



Mentos classic zu Cola light



Sand zu zuckerhaltiger Limonade

Anmerkung:

Als Erklärung wird (z. B. in [17]) angeführt: An der großen Oberfläche kann sich das Kohlenstoffdioxid leicht anlagern und zu immer größeren Blasen zusammenschließen, die sich dann ablösen und durch die Cola emporsteigen. Durch diese Bewegung reißt sich wiederum mehr Kohlenstoffdioxid los und entweicht nach oben. Diese Vorgänge verlaufen rasend schnell, so dass innerhalb von Sekunden fast das gesamte in der Cola enthaltene Kohlenstoffdioxid hochsteigt und auch Flüssigkeit mit nach oben gezogen wird. Die Mischung von Flüssigkeit und Gas-Bläschen ist der Schaum, den man dann bei der Fontäne aus der Flasche herausschießen sieht. Auch die Mentos classic-Tabletten scheinen über eine raue und damit recht große Oberfläche zu verfügen.

- *Kombination der Faktoren*

Die Kombination der genannten Faktoren ist entscheidend. Ein süßes Getränk alleine genügt nicht, um eine Schaumkrone zu bilden, erkennbar an Powerade. Kohlensäure alleine erzeugt auch noch keine Schaumkrone, sondern höchstens Blasen. Ein körniger Stoff alleine kann Leitungswasser nicht zur Wallung bringen. Erst in der Kombination aus Kohlensäure und Süßstoff/Zucker in der Flüssigkeit ist der gewünschte Effekt zu sehen, der durch die Verwendung eines körnigen Stoffes mit großer Oberfläche immens verstärkt wird

Auftrag 4: Mentos-Fontäne „spritzig – schwungvoll – ganz groß“

b) Übertragung auf die Fontäne

Arbeite mit dem besten Ergebnis unbedingt im Freien weiter: Erzeuge hiermit nur einmal eine „Fontäne“, jetzt mit größeren Mengen. Achte darauf, eine frisch geöffnete, gefüllte Plastik-Flasche zu verwenden.

Filme den Prozess mit deiner Smartphone-Kamera (evtl. als Slow-Motion). Füge in deine Arbeit einen Screenshot vom Zeitpunkt mit der höchsten Fontäne ein und ermittle daraus deren Höhe.

die Fontäne

Durchführung:

In eine unbenutzte, also volle Cola-Flasche werden mehrere (z. B. fünf) Mentos classic-Tabletten oder eine vergleichbare Menge eines anderen Zusatzes, der sich in a) als wirkungsvoll erwiesen hat (z. B. Salz oder Sand), gegeben.

Da sich die Fontäne rasch bildet, ist es ratsam, die Zutaten über einen Trichter zuzuführen, den man sich z. B. aus Papier rollen kann.

Beobachtungen:

Der Effekt mit Mentos classic ist schon beeindruckend, mit Sand allerdings wird die Fontäne noch höher und säulenartiger. Bei den Mentos-Tabletten kommt es nicht so sehr auf die Menge an: Setzt man etwa 10 statt 5 Mentos-Tabletten ein, werden umso mehr von der bereits einsetzenden Fontäne wieder herausgeschleudert, bevor sie überhaupt wirken können. In unserem Experiment war dadurch die Fontäne mit 5 Tabletten sogar höher als mit 10 Tabletten.

Ogleich Salz im Vorexperiment vielversprechend schien und ein rasches, starkes Schäumen hervorrief, wirkt sich dies in der Flasche als Nachteil aus, da die Cola sofort nach oben dringt, sich dann über die Flaschenöffnung hinaus nach allen Seiten Platz verschafft und herausquillt, anstatt nach oben zu schießen. Die Fontäne ist also breit und nicht so hoch wie gewünscht. Im Gegensatz dazu dauert es bei Sand eine Weile, in der sich die Gasblasen in der Flasche unter der Flüssigkeit sammeln können, bevor sie schlagartig nach oben treiben und eine Fontäne erzeugen. Daher erhält man mit Sand (in unserem Fall 7 gehäufte Teelöffel) das beste Ergebnis (Fotos hierzu: s. u.).

Anmerkung:

Getestet haben wir zum Vergleich auch Limonade mit Sand. Es entstand zwar eine Fontäne, die aber eine enttäuschend und im Vergleich zu Cola nur etwa ein Zehntel so hoch war.

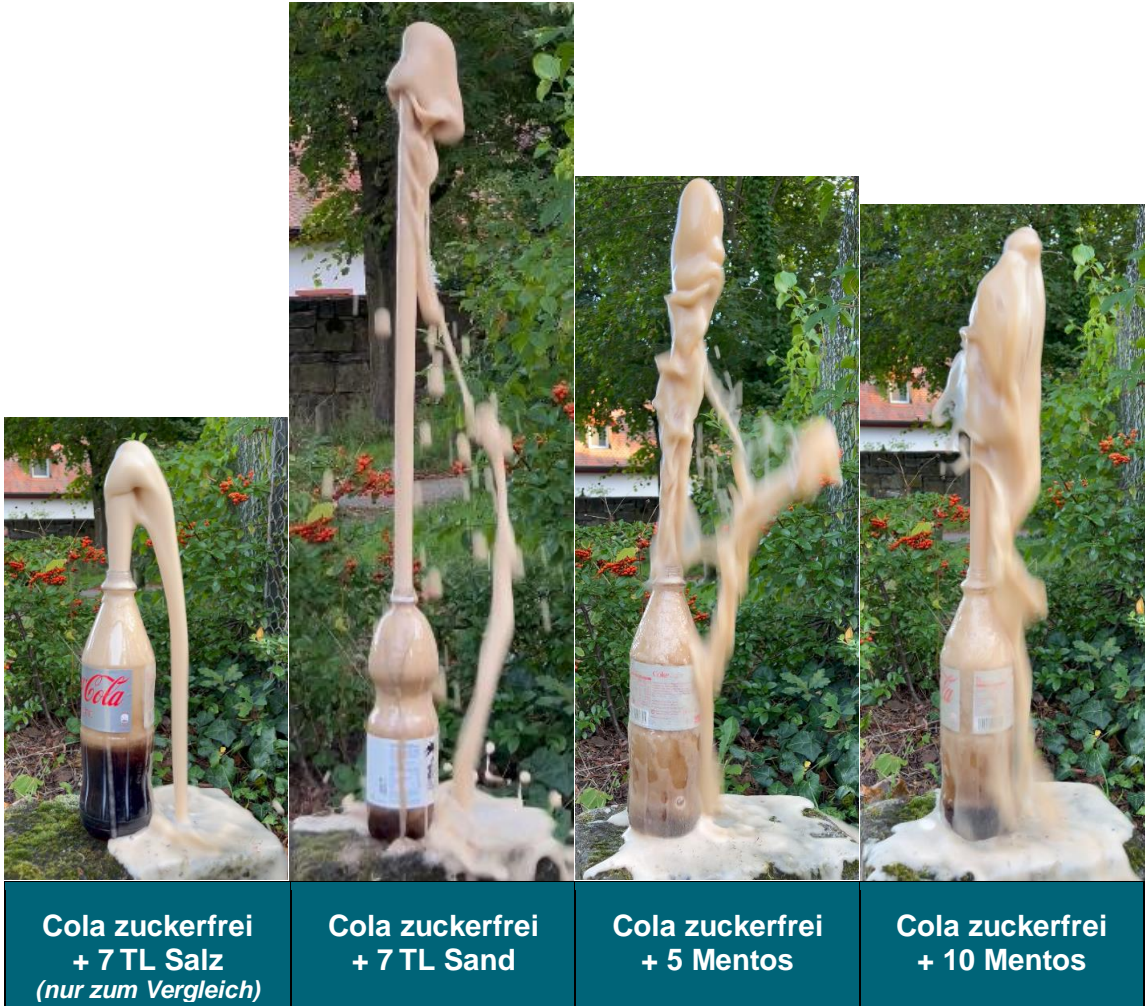
► **Bewertungshinweis:**

Die Wettbewerbsteilnehmenden führen nur eine einzige Fontäne durch, können also hier keinen Vergleich anstellen.



Berechnung der Fontänenhöhe

Für die rechnerische Bestimmung der Höhe greifen wir exemplarisch auf die Fontäne aus zuckerfreier Cola (1 L-Flasche) mit Sand (7 gehäufte TL) zurück und vergleichen den Wert mit den Mentos classic-Tabletten. Vereinfachend bleiben dabei Verzerrungen aufgrund der perspektivischen Darstellung im Foto unberücksichtigt. Das erste Foto, in dem die maximal mit Salz erreichbare Fontäne dargestellt wird, soll nur den geringen Effekt im Vergleich zu Sand aufzeigen.



	Cola zuckerfrei + 7 TL Salz <i>(nur zum Vergleich)</i>	Cola zuckerfrei + 7 TL Sand	Cola zuckerfrei + 5 Mentos	Cola zuckerfrei + 10 Mentos
Höhe der Flasche im Foto (abgemessen)	3,4 cm	3,6 cm	3,6 cm	3,6 cm
Höhe der Flasche in Realität (abgemessen, somit Faktor 8,2)	28 cm	29,5 cm	29,5 cm	29,5 cm
Höhe der Fontäne im Bild (über dem Flaschenhals)	7,6 cm	5,1 cm	4,5 cm	4,5 cm
Höhe der Fontäne in Realität (berechnet)	63 cm	42 cm	37 cm	37 cm

Quellen und Literaturhinweise

zu Auftrag 1

- [1] Experimentalwettbewerbe „Chemkids“ und „NATEX“ (jeweils Aufgabe 1-2023/24)
- [2] HOLGER THOMSEN; „Wieviel Zucker enthalten Getränke?“, in: Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie, Heft 47, S. 10-12, Erhard Friedrich Verlag GmbH & Co. KG, Seelze (1998)
- [3] PRISKA WOERMANN; „Cola auf dem Experimentiertisch“ (2004); abrufbar (Stand 23.1.2024) unter <https://www.unterrichtsmaterial.ch/arbeitsblatt/72194-chemie-gemischte-themen-cola-auf-dem-experimentiertisch>

zu Auftrag 2

- [4] LARS CZUBATINSKI, GABRIELE HORNING, EUGEN RESMANN; „Experimentieren im Chemie-Unterricht mit Hilfe videogestützter experimenteller Hausaufgaben – die kolorimetrische Untersuchung von Fruchtsaftschorlen mit dem „Smartphotometer“; in: CHEMKON, Heft 3/28, S. 122-126, Wiley-VCH GmbH, Weinheim (2021); in dieser Quelle wird der Link zum Originalvideo angegeben: © Wiley-VCH GmbH. Reproduced with permission.
- [5] CAROLA NIEß, LARS CZUBATINSKI, GABRIELE HORNING; „Die Konzentration eines Farbstoffs bestimmen“; in: Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie, Heft 177/178, S. 32-35, Friedrich Verlag GmbH, Hannover (2020)
- [6] MORITZ KRAUSE, CHRISTOPH THYSSEN; „Eine Fotometrie mit dem Smartphone durchführen“; aus: Mint digital, Joachim Herz Stiftung; abrufbar (Stand 23.1.2024) unter [https://www.mint-digital.de/fileadmin/user_upload/Eine Fotometrie mit dem Smartphone durchfuehren.pdf](https://www.mint-digital.de/fileadmin/user_upload/Eine_Fotometrie_mit_dem_Smartphone_durchfuehren.pdf)

zu Auftrag 3 (Links abgerufen am 6.12.2023)

- [7] KERSTIN FILIPZIK; „Softdrinks – süße Verführung“; in: Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht 5 bis 10, Heft 8, S. 36-39, Friedrich Verlag GmbH, Hannover (2014); plus zugehöriges Arbeitsheft mit Arbeitsblättern
- [8] DAGMAR STEINER; „Analyse und Synthese an Cola-Getränken“; in: Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie, Heft 43, S. 37-39, Erhard Friedrich Verlag GmbH & Co. KG, Seelze (1998)
- [9] <https://www.ukaachen.de/kliniken-institute/mfa-zfa/tipps-und-service/die-bittersuesse-wahrheit-ueber-zucker>
- [10] <https://www.quarks.de/gesundheit/ernaehrung/wie-schaedlich-ist-zucker/>
- [11] <https://www.ddg.info/diabetes-zeitung/hoechstens-50-gramm-pro-tag>
- [12] https://www.bfr.bund.de/de/fragen_und_antworten_zu_zuckerkuoer_in_getraenken-193004.html
- [13] <https://konsument.at/essen-trinken/farbstoffe-in-colagetraenken>
- [14] Wikipedia (Stand 23.1.2024)

zu Auftrag 4

- [15] Johanna Dittmar, Ingo Eilks; „Cola-Mentos-Fontäne“; aus: TEMI - Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated, Bremen (2012), abrufbar (Stand 23.1.2024) unter https://idn-alt.physikdidaktik.uni-bremen.de/chemiedidaktik/temi/Cola_Mentos.pdf
- [16] <https://www.simplyscience.ch/teens/experimente/mentos-bombe-die-suesse-explosion> (abgerufen am 22.9.2023)
- [17] <https://www.science.lu/de/youtube-klassiker/cola-mentos-fontaene-eine-anleitung> (abgerufen am 22.9.2023)