

*Die Prüfungszeit setzt sich zusammen aus 220 min Bearbeitungszeit und 30 min Auswahlzeit.

Aufgabenstellung

Stand-up-Paddle (SUP)-Board

1. Kunststoffe im SUP-Board

1.1. Analysieren Sie unter Berücksichtigung von Stoff- und Teilchenebene, welcher Kunststofftyp jeweils für die Außenhülle und für die Innenfäden eines SUP-Boards geeignet ist (**M1**). [15 BE]

Hinweis: Berücksichtigen Sie Reißfestigkeit und Verformbarkeit.

1.2. Beschreiben Sie den Reaktionsmechanismus zur Herstellung von PVC und stellen Sie den Mechanismus in Strukturformeln dar (**M1**). [14 BE]

Hinweis: Verwenden Sie als Radikalstarter vereinfacht $R - R$.

1.3. Erläutern Sie mithilfe von Struktur-Eigenschaftsbeziehungen den Einsatz von PVC in einem SUP-Board im Wasser (**M1**). [14 BE]

1.4. Nennen Sie die funktionellen Gruppen der in der Reaktionsgleichung aufgeführten Moleküle und beschreiben Sie die Reaktion zur Herstellung von PET (**M2**).

Erklären Sie nach dem Prinzip von LE CHATELIER, welche Folge die Bildung des Kunststoffs für die Reaktion hat (**M2**). [14 BE]

1.5. Nehmen Sie Stellung zur Einführung eines Pfandsystems auf herkömmliche SUP-Boards mit einem Pfand von 200 € pro Board, auch in Abwägung zur Einführung alternativer SUP-Boards (**M1, M3, M4**). [15 BE]

2. Der Akkumulator im Elektro-SUP-Board

2.1. Erklären Sie die Vorgänge beim Laden und Entladen eines LiMnO_2 -Akkumulators und berechnen Sie das Elektrodenpotenzial der Halbzelle des Pluspols (**M5**). [15 BE]

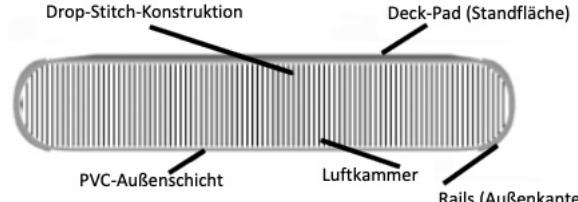
2.2. Erläutern Sie unter Bezug zum Elektrodenpotenzial der graphithaltigen Elektrode, warum darauf geachtet werden muss, dass in LiMnO_2 -Akkumulatoren kein Wasser eindringt (**M5**). [13 BE]

Hinweis: Gehen Sie bei eingedrungenem Wasser für den Gegenpol von einem Elektrodenpotential von $-0,41 \text{ V}$ aus.

Material

M1: Aufbau eines SUP-Boards

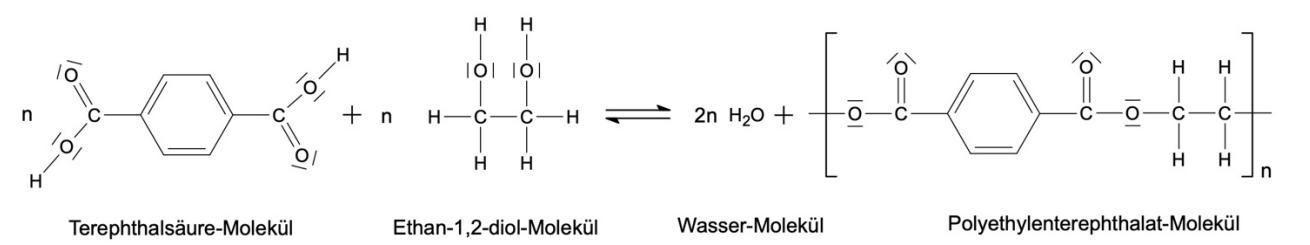
Das Stand-up-Paddling (SUP) erfreut sich wachsender Beliebtheit. Wer das erste Mal auf einem aufblasbaren SUP-Board steht, ist überrascht von der Stabilität, die weit über die einer Luftmatratze hinausgeht. Bis zu 150 kg können auf dem Board problemlos bewegt werden. Diese aufgepumpt sehr stabilen Boards können nach Entweichen der Luft leicht zusammengerollt werden, sodass sie sehr einfach transportiert werden können. Der Grund für die Steifheit im aufgepumpten Zustand liegt am Drop-Stitch-Kern, der sich im Inneren der Boards befindet. Hinter dem Drop-Stitch-Kern verbergen sich zahlreiche Polyester-Fäden, die im Wesentlichen aus PET (Polyethylenterephthalat) bestehen. Diese Fäden sind an der Ober- und Unterseite jeweils mit einer PVC (Polyvinylchlorid)-Lage verbunden. Im unaufgepumpten Zustand sind die Polyesterfäden flexibel und beweglich, erst mit der Befüllung mit Luft unter Druck ergibt sich die Stabilität des Boards. Dieser Innenraum der SUP-Boards ist von PVC-Lagen umgeben, die luftdicht verklebt sind. Je mehr PVC-Lagen ein Board aufweist, umso stabiler ist es, allerdings auch umso schwerer. Da eine Außenlage auf Basis von PVC zu rutschig wäre, ist auf den Boards eine Standfläche aus einem weiteren Kunststoff verklebt, die rutschfest undwitterungsbeständig ist. SUP-Boards gibt es in allen Preiskategorien, hierbei spielen das eingesetzte Material und die Verarbeitung eine große Rolle.

	 vereinfachter Querschnitt durch SUP-Board	$\left[\begin{array}{c} \text{H} & & \text{Cl} \\ & \text{C} - & \text{C} \\ & & \\ \text{H} & & \text{H} \end{array} \right]_n$ PVC-Molekül
 Polyesterfäden im Drop-Stitch-Kern	$\left[\begin{array}{c} \text{O} & & & \text{O} \\ & & & \\ \text{O}-\text{C} & - & \text{C}_6\text{H}_4 & -\text{C}-\text{O} \\ & & & \\ & & & \text{O} \\ & & & \\ & & & \text{H} & \text{H} \\ & & & & \\ & & & \text{H} & \text{H} \end{array} \right]_n$ PET-Molekül	

verändert nach: <https://www.sup.center/konstruktion-bauweise-von-aufblasbaren-sup-boards-isup-woher-kommt-die-steifheit;>
letzter Zugriff: 22.08.2022

M2: Herstellung von PET (Polyethylenterephthalat)

Die Herstellung von PET erfolgt in einer säurekatalysierten Polykondensationsreaktion. In der exotherm verlaufenden Reaktion wird der feste Kunststoff gebildet.



M3: Herkömmliche und alternative SUP-Boards

2021 wurden in Deutschland ca. eine Million SUP-Boards verkauft. Der Großteil liegt dabei bei den kostengünstigen Boards um ca. 300 €, die auch in M1 beschrieben sind. Sind SUP-Boards kaputt oder veraltet, so werden die wenigsten dieser herkömmlichen Boards recycelt, sondern vielmehr in Gänze in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt. Für das Kunststoffrecycling gilt: Je sortenreiner ein Kunststoff ist, umso einfacher ist das Recycling. Man unterscheidet verschiedene Recycling-Verfahren. Hierbei soll im Folgenden das thermische und werkstoffliche Recycling betrachtet werden. Beim thermischen Recycling wird der Kunststoffabfall in Gänze verbrannt. Die freigesetzte Energie kann für unterschiedliche Prozesse genutzt werden. Beim werkstofflichen Recycling werden Kunststoffabfälle sortiert, gewaschen, eingeschmolzen und zu sogenannten Rezyklaten aufbereitet. Da die Polymerstruktur der Kunststoffe bei diesem Recycling erhalten bleibt, wird wesentlich weniger Energie für die Produktion neuer Werkstoffe benötigt. PVC sind sehr häufig Zusatzstoffe wie Weichmacher beigefügt. Die meisten PVC-Produkte werden thermisch recycelt. Hierbei kommt es zur Freisetzung von Chlorwasserstoff. Dieser kann zur Produktion von neuen PVC-Produkten eingesetzt werden. PET wird meistens sehr rein verarbeitet, sodass ein werkstoffliches Recycling bereits vielfältig eingesetzt wird. Selbst unreine PET-Produkte können noch zu langen Polyesterfasern versponnen und z. B. im Textilbereich oder für SUP-Boards genutzt werden.

In einem aktuellen Forschungsansatz von 2022 ist ein alternatives SUP-Board entwickelt worden. Hierbei besteht das Innenleben aus Balsaholz, das ein geringes spezifisches Gewicht hat. Dieses Holz wächst in subtropischen und tropischen Klimazonen, vor allem in Papua-Neuguinea und in Ecuador. Bereits die Ureinwohner Papua-Neuguineas haben Bretter aus Balsaholz für den Schiffbau verwendet. In dem Forschungsansatz wird Balsaholz zu einem festen Schaum aufbereitet, der so fest ist, dass keine weiteren Verklebungen mehr notwendig sind. Da Balsaholz auch in Rotorblättern von Windrädern eingesetzt wird, wird das Holz aus alten, aussortierten Rotorblättern, die sonst verbrannt worden wären, genutzt. Probleme macht den Forschenden noch die Verbindung mit der Außenhülle, die aus festen Flachsfasern aufgebaut sein soll. Flachs ist ein nachwachsender Rohstoff, der in Europa angebaut wird. Die alternativen SUP-Boards sind nicht einrollbar und werden nach momentanem Stand ca. 2500 – 3000 € kosten. Die alternativen Boards bestehen aus nachwachsenden Rohstoffen und sollen als Rohstoffe wieder recycelt werden, am Ende sind sie biologisch abbaubar.

verändert nach: <https://www.pvcrecyclingfinder.de/pvc-recycling-in-deutschland/>, <https://de.wikipedia.org/wiki/Polyvinylchlorid>, https://www.recycletheone.com/de-DE/recycle-now/wie-funktioniert-pet-recycling?gclid=CjwKCAjwi8iXBhBeEiwAKbUofY-siwS9hP0bH363tG3Rsihg7FxJh1nzduZldlFiBeKsLNwv1uqbD3xoCz0gQAvD_BwE, <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/august-2021/stand-up-paddleboard-aus-nachwachsenden-leichtbau-materialien.html>; letzter Zugriff: 06.09.2022

M4: Pfandsystem in Deutschland am Beispiel von PET-Flaschen

Seit 2003 wird in Deutschland auf viele Getränkeverpackungen, unter anderem auf PET-Flaschen, ein Pfand erhoben. Der Hersteller meldet sich bei der DPG (Deutsche Pfandsystem GmbH) an und kennzeichnet die Pfandflaschen mit einem speziellen Strichcode, der in einer Datenbank hinterlegt wird, sowie dem Kennzeichen für Pfandflaschen. Der Hersteller verlangt Pfand vom Verkäufer. Dieser verlangt Pfand vom Verbraucher, der dieses bei Rückgabe der PET-Flaschen vom Verkäufer wieder erlangt. Damit der Verkäufer sein Pfand vom Händler zurückhält, werden die Flaschen über den Strichcode identifiziert.

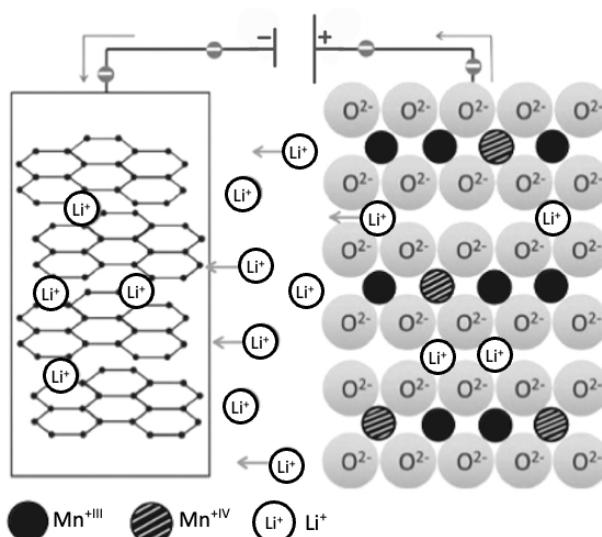
verändert nach: <https://dpg-pfandsystem.de/index.php/de/das-einwegpfandsystem/der-dpg-einwegpfandprozess.html>; letzter Zugriff: 06.09.2022

M5: Der Akkumulator im Elektro-SUP-Board

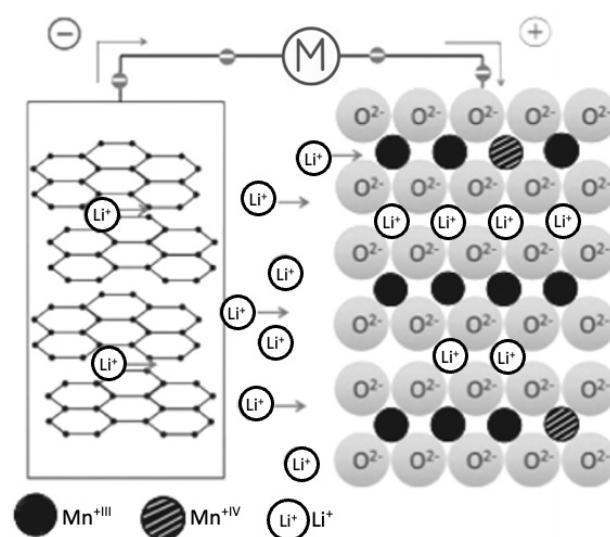
Mit Elektro-SUP-Boards, sogenannten EFoils, kann man ohne großen Muskelaufwand durch einfache Gewichtsverlagerung aufgrund der besonderen Konstruktion dieser Boards quasi über dem Wasser schweben. Im Board ist ein Lithium-Ionen-Akkumulator verbaut. Diese spielen insbesondere durch die zunehmende Elektromobilität in allen Bereichen des Lebens eine sehr große Rolle. Die modernen Lithium-Ionen-Akkumulatoren verzichten auf metallisches Lithium als Elektrodenmaterial. In einem LiMnO_2 -Akku werden im Graphit (C_6)-Gitter Lithium-Ionen eingelagert. Diese Elektrode besitzt ein Elektrodenpotenzial von $E(\text{Minuspol}) = -1,76 \text{ V}$. Der Akku erzielt eine Zellspannung von 3,7 Volt. Im Folgenden werden die Vorgänge beim Laden und Entladen von einem LiMnO_2 -Akku modellhaft dargestellt:



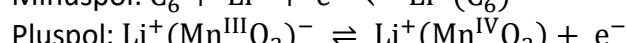
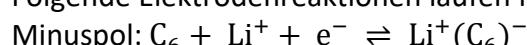
Ladevorgang



Entladevorgang



Folgende Elektrodenreaktionen laufen formal ab:



Hinweis: Die Li-Ionen sind in das in Klammern dargestellte Gitter eingelagert.

verändert nach: M. Hasselmann, M. Oetken: Chemie in unserer Zeit, 2014, 48, 102 – 113; Bildquelle (Efoil): <https://hydrofoil-surfing.de/blogs/blog/funktionsweise-von-efoils-warum-sie-fliegen>; letzter Zugriff: 16.09.2022

Hilfsmittel

1. Taschenrechner
2. Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene Formelsammlung
3. Ggf. die Abbildung oder der Abdruck des Periodensystems