



# GoetheLab

Das gemeinsame Programm der Fachbereiche  
für Schülerinnen und Schüler

„Mobilität ... bewegt“

100 JAHRE 1919 - 2019  
GOETHE-UNIVERSITÄT  
Wissenschaft für die Gesellschaft.

Wissenschaftswende  
Sternstunden  
Quersdenker  
Naturwissenschaftler  
Pionier  
Heller Kopf  
Erkenntnis  
Exzellenz  
Experimentierfreude  
Freiheit  
Nobelpreisträger

**Erfahren.  
Erforschen.  
Erleben.**

Week of Science  
am Campus Riedberg

Otto Stern (1888 - 1969),  
Physiker und  
Nobelpreisträger

## *GoetheLab Elektromobilität*



*Eine Kooperation der Fachbereiche Physik, Chemie und Soziologie*

Name: \_\_\_\_\_

---

## *Teil 1:*

# *Sozialwissenschaftliche Forschung am Beispiel von Elektromobilität*

---

Goethe-Universität Frankfurt am Main  
GoetheLab – Teilprojekt Elektromobilität

**Sozialwissenschaftliche Forschung am Beispiel von Elektromobilität**

Team:

Goethe-Universität Frankfurt am Main  
Fachbereich Gesellschaftswissenschaften | Institut für Soziologie  
Campus Westend | PEG-Gebäude  
Grüneburgplatz 1  
60323 Frankfurt am Main

Prof. Dr. Birgit Blättel-Mink | Dirk Dalichau | Anne Breitweg | Ibrahim Meral | Sarah Schmitz

Kontakt:

>> <http://www.fb03.uni-frankfurt.de/soziologie/bblaettel-mink>

>> <http://www.fb03.uni-frankfurt.de/42861422/Dalichau>

Frankfurt am Main, Januar 2017

Alle Daten sind rein fiktiver Natur und dienen nur der Veranschaulichung und Durchführung einer Forschungssimulation im Rahmen des GoetheLab 2017 an der Goethe-Universität Frankfurt.

---

---

## Inhaltsverzeichnis

---

Inhaltsverzeichnis.....	V
1 Empirische Sozialforschung .....	1
2 Situationsbeschreibung und Aufgabenstellung.....	3
3 Qualitative Sozialforschung.....	4
3.1 Leitfaden Experteninterview.....	4
3.2 Transkriptionsregeln .....	5
3.3 Transkription Experteninterview Wohnungsbaugesellschaft .....	5
3.4 Transkription Experteninterview Fuhrparkmanagement .....	8
4 Quantitative Sozialforschung – Forschungsgruppe II.....	10
4.1 Fragebogen – Onlineerhebung .....	10
4.2 Ergebnisse – Onlineerhebung .....	16
4.3 Auswertung und Grafiken.....	22
5 eLearning-Tool – Social Research Skills.....	28

---

## 1 Empirische Sozialforschung

---

### Qualitative Sozialforschung am Beispiel des Experteninterviews

Merkmale qualitativer Forschung:

- (meistens) kein Anspruch auf Repräsentativität
- kleine Fallzahlen
- meistens offenes Vorgehen
- es wird nicht gemessen, sondern vor allem mit interpretierbaren Faktoren gearbeitet
- nicht statistisch auswertbar, nicht berechenbar
- Anwendung vor allem bei neuen Forschungsfeldern (explorativ) und zur Erarbeitung von Hypothesen

Beispiel: das leitfadengestützte Experteninterview

Das leitfadengestützte Experteninterview ist eine sozialwissenschaftliche Methode zum Erheben empirischer Daten. Es wird dabei einerseits mit einem Leitfaden vorgegeben, welche Themen angesprochen werden, andererseits bleibt die Methode offen, auch weitere Aspekte anzusprechen, die ebenfalls von Bedeutung sein können. Somit wird ermöglicht, dass alle wesentlichen Aspekte eines neuen Forschungsthemas erfasst werden.

Literaturtipps:

*Przyborski, Aglaja/ Wohlrab-Sahr, Monika (2014): Qualitative Sozialforschung. Ein Arbeitsbuch, 4. erweiterte Auflage, München: Oldenbourg.*

### Quantitative Sozialforschung am Beispiel des standardisierten Fragebogens

Merkmale qualitativer Forschung:

- (meistens) Anspruch auf Repräsentativität
- große Fallzahlen
- meistens standardisiertes Vorgehen
- Umgang mit messbaren Faktoren
- statistisch auswertbar und berechenbar
- Gefahr der „Scheinobjektivität“
- Anwendung beispielsweise zum Testen von Hypothesen oder Erheben repräsentativer Daten

**Beide Verfahren** haben feste Regeln und Instrumente, die bei den Erhebungen zur Anwendung kommen. Zudem stehen die beiden Verfahren nicht zwangsläufig in Konkurrenz zueinander, sondern lassen sich gewinnbringend ergänzen. Die Kombination beider Verfahren nennt man Methoden-Triangulation.

### **Das Fragen**

Zu Fragen ist nicht immer ganz leicht. Der Volksmund sagt: „Dumme Fragen gibt es nicht, dumm ist nur, wer nicht fragt.“ Leider können wir das für die Empirische Sozialforschung nicht gelten lassen. Denn auch wenn sie nicht „dumm“ sind, können unbedarft gestellte Fragen oder schlecht konstruierte Fragebögen dazu führen, dass die Ergebnisse eines Forschungsprojektes leider unbrauchbar sind. Man muss sicherstellen, dass die Daten, die erhoben werden, auch zur Beantwortung der Forschungsfrage beitragen. Denn „Die richtige Antwort [...] erhalten sie nur, wenn sie die richtige Frage stellen.“ (Porst 2009).

Literaturtipps:

*Porst, Rolf (2009): Fragebogen. 2. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag.*

Weitere Literatur:

*Kromrey, Helmut (2006): Empirische Sozialforschung. 11. Aufl., Stuttgart: Lucius & Lucius.*

*Schnell, Rainer/ Hill, Paul B./ Esser, Elke (2005): Methoden der empirischen Sozialforschung. 7. völlig überarb. u. erw. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.*

---

## 2 Situationsbeschreibung und Aufgabenstellung

---

### **Situationsbeschreibung:**

Ihr Institut ist Teil eines umfassenden Forschungsprojektes zur Akzeptanz von Elektromobilität. Neben Ihnen, als Wissenschaftler/innen, sind auch Unternehmen, Behörden und Wohnungsbaugesellschaften - als Praxispartner - an dem Projekt beteiligt. Die Praxispartner haben in ihre Fuhrparks seit einiger Zeit Elektroautos integriert. Mitarbeiter/innen und Mieter/innen können diese Elektroautos für berufliche beziehungsweise private Fahrten ausleihen. Aufgabe der Wissenschaftler/innen ist es, zu untersuchen, inwiefern Elektromobilität erfolgreich genutzt wird und auf Akzeptanz bei den Nutzer/innen stößt.

Sie arbeiten als Wissenschaftler/innen in einem interdisziplinären Forschungsteam. Das heißt, dass Sie in engem Austausch mit Kolleg/innen aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen stehen. Sie selbst sind Soziolog/innen und arbeiten mit Wissenschaftler/innen aus der Physik und der Chemie zusammen. Gemeinsam forschen Sie zur Akzeptanz und Optimierung von Elektromobilität.

### **Aufgabenstellung:**

Als Soziolog/innen im beschriebenen Forschungsprojekt liegt bei Ihnen die Aufgabe der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung. Die Fragestellung, der Sie dabei nachgehen, lautet:

#### **Inwieweit finden Elektrofahrzeuge Akzeptanz bei Nutzer/innen? Welche Chancen und Barrieren bestehen bei der Umsetzung von Elektromobilität?**

Die Untersuchung soll in zwei Schritten erfolgen. Zum einen sollen die Projektverantwortlichen der Praxispartner befragt werden. Diese haben einen sehr guten Überblick über die Nutzung der Elektrofahrzeuge und kennen die Probleme ebenso wie die positiven Erfahrungen der Nutzer/innen. Daher sind die Projektverantwortlichen Expert/innen für die Frage nach der Akzeptanz von Elektrofahrzeugen.

Für die Befragung nutzen Sie das wissenschaftliche Erhebungsinstrument des „leitfadengestützten Experteninterviews“. Ihr Forschungsteam hat bereits einen Leitfaden für die Befragung ausgearbeitet. Mit diesem Leitfaden führen Sie die Experteninterviews durch. Um diese später auswerten zu können, nehmen Sie die Interviews auf.

Zum anderen soll eine Befragung der Nutzergruppe erfolgen. Für die Untersuchung einer größeren Anzahl von Befragten eignet sich ein quantitativer Zugang mit einem standardisierten Fragebogen. Dazu wird eine standardisierte Onlinebefragung der Mitarbeiter/innen und Mieter/innen der Praxispartner durchgeführt. Ihr Forschungsteam wird ihnen den standardisierten Fragebogen und die Ergebnisse der Onlineerhebung vorstellen.

Sie werden die erhobenen Daten in Hinblick auf die Fragestellung auswerten und die Aspekte Chancen und Barrieren herausarbeiten, sowie Nutzergruppen definieren. Anschließend werden Sie die Ergebnisse dem Forschungsteam vorstellen.



### 3 Qualitative Sozialforschung

#### 3.1 Leitfaden Experteninterview

Forschungsleitende Fragestellung:

**>> Inwieweit finden Elektrofahrzeuge Akzeptanz bei Nutzer/innen? Welche Chancen und Barrieren bestehen bei der Umsetzung von Elektromobilität? <<**

Block	Frageauswahl
Begrüßung und Selbstdarstellung	<p>Ganz herzlichen Dank Herr / Frau &lt;...&gt;, dass Sie sich Zeit genommen haben und Sie uns bei dem Forschungsprojekt Elektromobilität unterstützen. Das Gespräch wird etwa 15 Minuten in Anspruch nehmen. Wir würden gerne das Interview auf Tonband aufzeichnen, wenn Sie nichts dagegen haben. Alle Daten werden selbstverständlich anonymisiert. Wir sind gespannt auf ihre Erfahrungen aus dem Bereich Elektromobilität.</p> <p>Ich würde Sie bitten, sich eingangs kurz vorzustellen. Welchen beruflichen Hintergrund haben Sie und wie sind Sie zu Ihrer Aufgabe hier bei der Firma &lt;... &gt; gekommen?</p>
Block 1 – Projekt	Können Sie ihr Projekt kurz beschreiben? Welche Art von Mobilität sieht Ihr Konzept für die Nutzerinnen und Nutzer vor?
Block 2 – Erwartungen	Sie haben bereits seit einiger Zeit Elektrofahrzeuge in Ihrem Unternehmen. Mit welchen Erwartungen war die Einführung der Elektrofahrzeuge verbunden?
Block 3 – Erfahrungen	Welche Erfahrungen haben Sie bisher mit den Elektrofahrzeugen gemacht und wie wurde Ihr Angebot bisher von den potenziellen Nutzerinnen und Nutzern angenommen?
Block 4 – Chancen	Welchen Chancen sehen Sie für die Zukunft von Elektrofahrzeugen?
Resümee und Schlussfrage	<p>Vielen Dank schon mal.</p> <p>Möchten Sie noch etwas ergänzen, was wir vielleicht vergessen haben?</p> <p>Wir haben über ... gesprochen. Gibt es noch etwas anderes, das Ihnen am Herzen liegt.</p>

### 3.2 Transkriptionsregeln

- Die gesprochene Sprache wird wörtlich in Schriftform festgehalten.
- Lautäußerungen, (Pausen, Seufzer, Lachen) werden festgehalten. (Mhm), ((lachen))
- Alle Angaben, die einen Rückschluss auf eine befragte Person erlauben, also Namen, Orte und Daten werden anonymisiert und maskiert. (Herr Mustermann = <Name>)

Transkriptionsregeln	
Mhm	Bejahung
[ ... ]	Gleichzeitiges reden
(?)	Nicht verstanden, unsicher verstanden. Anzahl der ? ist die Länge
(als?)	Vermuteter Wortlaut
<Name>	Anonymisierung – Entschlüsselung siehe Tabelle
(halt/hat?)	Alternatives Verständnis
((znnne))	Nonverbales Verhalten
Unterstrichen	Betonung
((!!!))	Vertrauliches
(.); (..); (...); (5S)	Pausen – 1 Sec; 2; Sec ... Sekundenangabe

### 3.3 Transkription Experteninterview Wohnungsbaugesellschaft

1 I: Schönen Guten Tag Frau <Name>, und ganz herzlichen Dank, dass Sie sich Zeit genommen haben  
 2 und Sie uns bei dem Forschungsprojekt Elektromobilität unterstützen. Das Gespräch wird etwa 15  
 3 Minuten in Anspruch nehmen. Wir sind gespannt auf Ihre Erfahrungen aus dem Bereich  
 4 Elektromobilität. Wir würden zur besseren Auswertung das Gespräch gerne auf Tonband  
 5 aufzeichnen, wenn Sie nichts dagegen haben. Alle persönlichen Daten werden wir natürlich  
 6 anonymisieren. (BW: Mhm, das geht in Ordnung). Ich würde Sie bitten, sich zu Beginn kurz  
 7 vorzustellen. Welchen beruflichen Hintergrund haben Sie, wie sind Sie zu der Firma  
 8 <Unternehmen> gekommen und welche Aufgaben betreuen Sie?

9 BW: Ja, also, mein Name ist <Name>. Ich habe Stadtplanung studiert und bin seit 2010 bei der  
 10 <Unternehmen>. Die <Unternehmen> ist vornehmlich im Bereich sozialer Wohnungsbau tätig. Das heißt, sie

11 *ist auch für die Vermietung und Verwaltung, Renovierung und Instandsetzung von Wohnanlagen zuständig.*  
12 *Wir sind hauptsächlich im Stadtteil <Stadtteil> tätig, weil der hat ein paar strukturelle Nachteile. Obwohl*  
13 *<Stadtteil> sehr nah zur <Stadt> liegt, ist die Anbindung mit den öffentlichen Verkehrsmitteln äußerst*  
14 *schwierig. Und wir machen jetzt schwerpunktmäßig dort Projekte, um diesen Stadtteil etwas zu fördern. Wir*  
15 *haben uns dann Gedanken darüber gemacht, was kann man tun, um diese Wohnlage zu attraktivieren, wir*  
16 *wollen ja, dass die Leute gerne bei uns wohnen. Und so sind wir auf dieses Projekt <Projekt> gekommen.*

17 I: Könne Sie ihr Projekt kurz beschreiben? Welche Art von Mobilität sieht Ihr Konzept für die  
18 Nutzerinnen und Nutzer vor?

19 *BW: Seit etwa 5 Monaten können Mieterinnen und Mieter unserer Liegenschaft Elektrofahrzeuge direkt vor*  
20 *ihrer Haustür von uns mieten, die stehen bei uns in der Tiefgarage. Dort haben wir auch Ladesäulen für die*  
21 *Fahrzeuge installiert. Die Liegenschaft liegt sehr weit ab vom Schuss. Zum nächsten Supermarkt sind es*  
22 *etwa 20 Minuten Fußweg, und zur nächsten S-Bahn Haltestelle, die nach <Stadt> fährt ist es eben so weit*  
23 *weg. Es gibt zwar recht nah eine Busverbindung, doch der Bus fährt nur sehr selten und auch nur über große*  
24 *Umwege die Bahnstation an. Dafür, dass <Stadtteil> so nah an <Stadt> liegt, ist sie gleichzeitig sehr davon*  
25 *abgehängt. Die Bewohner sind dadurch sehr auf das Auto angewiesen. Wir möchten ein Angebot schaffen,*  
26 *bei dem die Mieterinnen und Mieter von der Haustür aus mobil sind, ohne jedoch selber ein Auto zu*  
27 *besitzen. Durch unser Carsharing haben auch die Mieterinnen und Mieter Zugriff auf ein Fahrzeuge, die*  
28 *bisher weniger mobil waren. Die sich eben kein Auto leisten konnten. Ihnen wird eine zusätzliche*  
29 *Möglichkeit eröffnet ihre Mobilität je nach Bedarf zu gestalten. Mobilsein heißt für die Mieter ein Stück weit*  
30 *Freiheit, jederzeit mobil sein zu können, wenn sie es denn wollten.*

31 I: Sie haben bereits seit einiger Zeit Elektrofahrzeuge in Ihrem Unternehmen. Mit welchen  
32 Erwartungen war die Einführung der Elektrofahrzeuge verbunden?

33 *BW: Wir sind durch ein Treffen regionaler Stadtplaner auf das Förderprogramm Elektromobilität*  
34 *aufmerksam geworden und haben uns gedacht, ein elektromobiles Carsharing könnte doch wunderbar in*  
35 *unsere Liegenschaft passen. Wir wollten einfach mal ausprobieren, wie so ein zusätzliches*  
36 *Mobilitätsangebot bei unseren Mietern ankommt. Wir haben eine sehr große Parkplatznot. Viele Haushalte*  
37 *haben gleich mehrere Fahrzeuge, da hat die Familie zu einem großen großen Wagen, noch einen kleineren*  
38 *Zweitwagen und sobald das Kind einen Führerschein hat sind es ganz schnell drei Fahrzeuge pro Haushalt.*  
39 *Und überlegen sie es sich mal, die Fahrzeuge stehen doch zu 90% der Zeit ohne Nutzen still auf dem*  
40 *Parkplatz rum. Durch das Carsharing möchten wir zeigen, dass so viele Fahrzeuge vielleicht gar nicht mehr*  
41 *nötig sind und man auch so individuell mobil sein kann. Wir hoffen, dass unsere Mieter die Vorteile des*  
42 *Carsharings erkennen. Die Elektroautos haben bei uns immer einen reservierten Parkplatz, die müssen ja*  
43 *geladen werden und die Unterhaltskosten mit Versicherung und Steuern werden bei einem Carsharing auch*  
44 *geteilt. Nutzen statt besitzen, das ist unser Motto. Es wäre wünschenswert den Mieterinnen und Mietern ein*  
45 *Anstoß zu geben ihre alltäglichen Wege zu überdenken. Muss ich nun mein eigenes Auto für den Einkauf*  
46 *nutzen, oder ist es nicht auch eine effiziente Möglichkeit das E- Carsharing in der Liegenschaft zu nutz. Die*  
47 *individuelle Mobilität der Zukunft muss umweltfreundlicher gestaltet werden. Und dazu haben wir aber*  
48 *auch die Mieter, die sich kein eigenes Auto leisten können. Die haben dann die Möglichkeit, zumindest mal*  
49 *ab und zu, dann wenn es gar nicht ohne Auto geht, mal ein Auto gegen eine geringe Gebühr zu nutzen. Das*  
50 *ist viel preiswerter, als ein Auto anzuschaffen.*

51 I: Welche Erfahrungen haben Sie bisher mit den Elektrofahrzeugen gemacht? Wie wurde Ihr  
52 Angebot bisher von den potenziellen Nutzerinnen und Nutzern angenommen?

53 *BW: Zum einen sind unsere Mieter sehr aufgeschlossen gegenüber den Elektrofahrzeugen. Sie erkundigen*  
54 *sich viel, sind neugierig und auch fasziniert. Probefahrten werden gerne angenommen und in eigentlich*  
55 *allen Fällen kommen die Leute mit einem begeisterten Lächeln zurück. Besonders die Beschleunigung an der*  
56 *Ampel hat viele sehr begeistert - das wurde nicht erwartet. Elektromobilität macht eben Spaß. Allerdings*  
57 *sind sie in ihrem Ausleihverhalten sehr zögerlich, Autobahnfahrten und Wege außerhalb der Stadt werden*  
58 *vermieden. Die Nutzer haben viel Angst davor wegen einer leeren Batterie liegen zu bleiben. Man kann eben*  
59 *nicht mal schnell auf eine Tankstelle fahren und schnell tanken. Für weitere Strecken muss man im Voraus*  
60 *viel planen. Wie weit kommt man mit der Batterie, kommt man ohne Zwischenladung wieder zurück und wo*  
61 *könnte man gegebenenfalls aufladen? Und was passiert, wenn man in einen Stau gerät oder man eine*  
62 *Umleitung fahren muss. Es ist immer gut einen gewissen Puffer zu haben und dann ist die Reichweite doch*  
63 *oft eingeschränkt.*

64 I: Welche Chancen sehen Sie für die Zukunft von Elektrofahrzeugen?

65 *BW: Wenn generell weniger konventionelle Fahrzeuge und mehr Elektrofahrzeuge auf den Straßen*  
66 *unterwegs sind erwarte ich eine viel bessere Lebensqualität in unseren Städten. Zum einen wird die*  
67 *Luftqualität sich erheblich verbessern, da Elektrofahrzeuge lokal kein CO2 ausstoßen. Der Smog wird die*  
68 *Städte nicht mehr so belasten. Aber da muss man auch darauf achten, dass man das Auto mit Strom aus*  
69 *erneuerbaren Energien lädt. Sonst ist es nicht grün, dann bringt es der Umwelt nichts. Wir laden alle Autos*  
70 *mit grünem Strom. Des Weiteren wird die Lebensqualität durch die geringere Lärmbelastung profitieren,*  
71 *denn Elektroautos haben keine Motorengeräusche und sind enorm leise. Dies ist allerdings gleichzeitig ein*  
72 *Problem, denn Fußgänger und Radfahrer hören nicht, wenn ein Elektrofahrzeug sich nähert. Viele*  
73 *Fußgänger überqueren nach Gehör die Straße, da muss man als Elektroautofahrer schon sehr achtsam*  
74 *fahren.*

75 I: Frau <Name>, ich danke Ihnen an dieser Stelle schon mal recht herzlich. Haben wir etwas  
76 vergessen, was Sie gerne noch ansprechen würden?

77 *BW: Wir haben erkannt, dass die Mobilität in der jetzigen Weise auf lange Sicht keine Zukunft mehr hat. Wir*  
78 *müssen Umdenken und uns neue Wege für eine zukunftssträchtige Mobilität suchen. Die Elektromobilität*  
79 *scheint ein wunderbares Instrument für eine umweltbewusstere Fortbewegung zu sein. Hierzu sehe ich*  
80 *allerdings noch viel Optimierungsbedarf bei den Fahrzeugen, damit die Nutzerinnen und Nutzer das Angebot*  
81 *von Elektrofahrzeugen auch annehmen.*

82 I: Das war ein gutes Schlusswort, vielen Dank und ich stelle nun die Tonbandaufnahme ab.

### 3.4 Transkription Experteninterview Fuhrparkmanagement

---

1 I: Ganz herzlichen Dank Herr <Name>, dass Sie sich Zeit genommen haben und Sie uns bei dem  
2 Forschungsprojekt Elektromobilität unterstützen. Das Gespräch wird etwa 15 Minuten in Anspruch  
3 nehmen. Wäre es Ihnen recht, wenn ich das Gespräch auf Tonband aufnehmen würde? Ihre [   
4 Daten werden selbstverständlich anonymisiert.

5 *BF: Na klar, das ist doch kein ] Problem.*

6 I: Wir sind gespannt auf Ihre Erfahrungen aus dem Bereich Elektromobilität. Ich würde Sie bitten,  
7 sich eingangs kurz vorzustellen. Welchen beruflichen Hintergrund haben Sie, wie sind Sie zu ihrer  
8 Aufgabe hier bei der Firma <Unternehmen> gekommen, äh ja und welche Aufgaben betreuen Sie.

9 *BF: Hm, ja, schönen Guten Tag. Ja, (.) mein Name ist <Name> und ich habe in <Ort> an der <Uni>  
10 Betriebswirtschaft studiert. Und seitdem bin ich eigentlich bei der <Unternehmen> und bin zurzeit in der  
11 Abteilung Fuhrparkmanagement hier, ne. Also das Fuhrparkmanagement ist für die Fahrzeuge der  
12 Betriebsflotte zuständig, also so Wartung, Reparaturen der Fahrzeuge und so. Aber wir kümmern uns auch  
13 um die Beschaffung. Gerade jetzt mit den neuen Elektroautos war das eine sehr spannende Aufgabe, aber  
14 auch nicht ganz leicht. Aber am Ende hat es gut funktioniert und wir haben ja jetzt die Autos da. Vielleicht  
15 haben sie die unten ja auch schon gesehen [I: Ja, habe ich.] Und ich koordiniere die Buchungen der  
16 Mitarbeiter, die Fahrzeuge für ihre Dienstwege benötigen.*

17 I: Ja, schön. Vielen Dank. Können Sie ihr Projekt kurz beschreiben? Welche Art von Mobilität sieht  
18 ihr Konzept für die Nutzerinnen und Nutzer vor?

19 *B2: Also, wir sind ein großes Unternehmen und unsere Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sind immer sehr  
20 viel im Rhein-Main-Gebiet unterwegs und fahren zu Kundenterminen, Meetings mit Projektpartnern oder  
21 auch zu Tagungen. Aus dem Grund, ja also dafür hat unser Unternehmen auch eine Reihe von Fahrzeugen,  
22 die unsere Mitarbeiter für Dienstwege nutzen können. Im Herbst letzten Jahres haben wir uns dann etwas  
23 Gedanken darüber gemacht, ehm wie wir unseren Fuhrpark umweltfreundlicher gestalten können, wir  
24 wollten einfach etwas verändern. (I: Mhm). Ein Kollege hatte dann in einer Zeitschrift einen Artikel über  
25 Elektroautos gelesen, indem auch ein Unternehmen vorgestellt wurde, das Elektrofahrzeuge sehr erfolgreich  
26 in seine Unternehmensflotte aufgenommen hat. Das fanden wir toll und haben geschaut, ob wir dies auch in  
27 unserem Unternehmen umsetzen können. Ja und nun, seit Anfang des Jahres nehmen wir immer mehr  
28 Elektrofahrzeuge in unsere Fahrzeugflotte mit auf, die unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für ihre  
29 Dienstfahrten buchen können. Die Vergabe der Fahrzeugarten hängt mit der geplanten Strecke und  
30 selbstverständlich auch mit dem Zweck der Fahrt zusammen. Will man beispielsweise Kunden abholen  
31 macht ein repräsentativer Wagen viel mehr her. Dazu wird auch gerne ein Elektrowagen der Mittelklasse  
32 genommen, das kommt bei den Kunden immer gut an und man hat zu Beginn immer ein nettes Thema.*

33 I: Sie haben bereits seit einiger Zeit Elektrofahrzeuge in Ihrem Unternehmen. Mit welchen  
34 Erwartungen war die Einführung der Elektrofahrzeuge verbunden?

35 *BF: Hm ja. (9sec) Zunächst einmal war das Bewusstsein dafür da, dass das Projekt ein Experiment ist, indem  
36 wir austesten wollen in welcher Form Elektromobilität in unserem Unternehmen einsetzbar ist. Wichtig war  
37 uns, dass man von Anfang an an der Einführung von Elektrofahrzeugen beteiligt sein wollte. Nachhaltiges  
38 Handeln ist dem Unternehmen zunehmend wichtig. Dafür war man auch bereit, zumindest am Anfang*

39 etwas mehr Geld auszugeben. Aber die Elektrofahrzeuge haben auch viel Potential, Betriebskosten zu  
40 senken. Auf 100 km verbraucht ein Elektroauto etwa 20 kWh das entspricht drei Euro. Einem Verbrenner  
41 gegenübergestellt hätte man dann einen Verbrauch von 7 Liter, mit Kosten von neun Euro. Und auch die  
42 Wartungskosten sind bei Elektrofahrzeugen geringer, so entfällt beispielsweise auch die  
43 Abgasuntersuchung. Und im Projektverlauf haben wir festgestellt, dass unsere Mitarbeiter vom  
44 Fuhrparkmanagement die Fahrzeuge nicht regelmäßig betanken fahren müssen, da diese beim Parken  
45 geladen werden. Das erspart uns viel Zeit und wir können das Personal gut anderweitig einsetzen. Ja und,  
46 ehm die Autos fallen halt auch auf, und sind eindeutig als Elektrofahrzeug erkennbar. Die Leute auf den  
47 Straßen drehen sich um, wenn sie uns sehen.

48 I: Welche Erfahrungen haben Sie bisher mit den Elektrofahrzeugen gemacht? Wie wurde Ihr  
49 Angebot bisher von den potenziellen Nutzerinnen und Nutzern angenommen? Gibt es da schon  
50 ein Feedback?

51 BF: Es gab sehr viele positive Erfahrungen. Auch wenn einige Mitarbeiter skeptisch waren, konnten viele  
52 überzeugt werden. Man hat immer wieder Probefahrten angeboten. Dabei hat sich gezeigt, dass beim  
53 Fahren fast jeder begeistert ist. Strecken zu Kunden in der Umgebung können sehr gut mit dem E-Auto zu  
54 rückgelegt werden und es ist eine umweltfreundliche Alternative zu den Verbrenner-Motoren. Die  
55 Reichweite der E-Autos reicht aus, dass Wege im Rhein-Main-Gebiet in der Regel ohne Zwischenladen  
56 zurückgelegt werden können. Problematisch wird es dann allerdings bei den Wegen zu unserer Zweigstelle  
57 in Kassel. Eine Wegstrecke ist hier 210 km, das ist leider noch nicht mit den Elektroautos zu leisten und  
58 bedarf dringend einer besseren Akkuleistung in den Fahrzeugen. Es wäre für uns sehr wünschenswert, wenn  
59 wir auch diese Strecke in naher Zukunft mit den E-Fahrzeugen zurücklegen könnten. Man wusste von  
60 Anfang an auch, dass die Reichweite der Fahrzeuge ein großes Problem sein könnte. Letztlich hat sich die  
61 Reichweite der Fahrzeuge als noch schlechter als erwartet herausgestellt. Man hört doch schon von vielen  
62 Kollegen, dass sie sehr verunsichert sind wie weit sie fahren können und gerade in den Wintermonaten, wo  
63 die Batterie durch die Kälte eh schon nicht so leistungsfähig ist, wird die Reichweite durch Heizung und  
64 Scheinwerfern noch mehr eingeschränkt. Da kann ich die Skepsis gegenüber den E-Fahrzeugen schon  
65 nachvollziehen, die Leute wollen halt mehr Sicherheit, eine höhere Reichweite würde da schon helfen.

66 I: Welche Chancen sehen Sie für die Zukunft von Elektrofahrzeugen?

67 BF: Wichtig wird sein, ob man die Reichweite in den Griff bekommt. Es ist sicherlich nicht nötig, dass man  
68 mit einem Elektroauto 600 oder 700 Kilometer weit fahren kann. Aber so 250 Kilometer sollten es schon  
69 sein. Das würde für die meisten Fahrten ja auch reichen. Aber wie man das bewerkstelligen kann und ob es  
70 realistisch ist, eine solche Reichweite zu erzielen, das kann ich nicht beurteilen - dafür bin ich kein Experte.  
71 Ich habe mir mal sagen lassen, dass natürlich auch das Gewicht eines Autos eine wichtige Rolle dabei spielt -  
72 das klingt auch logisch. Aber um Ihre Frage zu beantworten: Ich denke, Elektromobilität hat auf jeden Fall  
73 eine Zukunft! Ich bin zuversichtlich, dass die Forschung das mit der Reichweite über verbesserte und  
74 leichtere Batterien, leichtere Motoren und generell über Leichtbauweise hinbekommt.

75 I: Herr <Name>, vielen Dank für das Gespräch. Haben wir etwas vergessen, was Sie gerne noch  
76 ansprechen würden?

77 BF: Ich denke wir haben alle wichtigen Aspekte besprochen. Viele Dank.

## 4 Quantitative Sozialforschung – Forschungsgruppe II

### 4.1 Fragebogen – Onlineerhebung

#### 1) Haben Sie schon einmal von Elektrofahrzeugen bzw. Elektroautos gehört?

Ja                       nein                       keine Angabe

*Filterfrage: wenn ja, dann 2); wenn nein oder keine Angabe, dann Filterfrage 1a) und Abbruch der Befragung*

#### 1a) Haben Sie Interesse mehr über Elektromobilität oder Elektrofahrzeuge zu erfahren?

ja                       nein                       keine Angaben

-> Ende der Befragung

#### 2) Sind Sie schon einmal ein Elektroauto gefahren?

ja                       nein                       weiß ich nicht                       keine Angaben

*Filterfrage: wenn ja, dann 3); wenn nein, weiß nicht oder keine Angabe, dann Filterfrage 2a) und Abbruch der Befragung*

#### 2a) Haben Sie Interesse an dem Testen eines Elektroautos?

ja                       nein                       keine Angaben

-> Ende der Befragung

#### 3) Seit wann fahren Sie bereits ein Elektrofahrzeug?

- seit weniger als drei Monaten
- seit mehr als drei Monaten
- seit mehr als sechs Monaten
- seit mehr als einem Jahr
- keine Angaben

#### 4) Wie häufig haben Sie das Elektrofahrzeug bisher genutzt?

- (fast) täglich
- 1-3 Tage pro Woche
- 1-3 Tage pro Monat
- Seltener
- Keine Angabe

**5) Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich mit dem Elektrofahrzeug pro Fahrt?**

<input type="checkbox"/>	weniger als 10 km
<input checked="" type="checkbox"/>	10-30 km
<input type="checkbox"/>	30-50 km
<input checked="" type="checkbox"/>	50-100 km
<input checked="" type="checkbox"/>	mehr als 100 km
<input checked="" type="checkbox"/>	keine Angaben

**5a) Schätzen Sie bitte einmal die weiteste Strecke, die Sie mit dem Elektrofahrzeug bisher zurückgelegt haben?**

\_\_\_\_\_ km

**6) Alles in allem, wie zufrieden sind Sie mit dem Elektrofahrzeug?**

<input checked="" type="checkbox"/>	voll und ganz zufrieden
<input type="checkbox"/>	sehr zufrieden
<input type="checkbox"/>	eher zufrieden
<input checked="" type="checkbox"/>	eher unzufrieden
<input checked="" type="checkbox"/>	sehr unzufrieden
<input type="checkbox"/>	voll und ganz unzufrieden
<input checked="" type="checkbox"/>	keine Angaben

**7) Bewerten Sie die folgenden Aussagen jeweils danach, inwiefern Sie auf Ihre Erfahrungen mit Elektromobilität zutreffen:**

	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	teils teils	stimme eher zu	stimme zu
Die Reichweite von Elektrofahrzeugen ist absolut ausreichend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektrofahrzeuge zu fahren ist einfach und unkompliziert	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Die Bedienung der Ladetechnik ist schwierig	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Nutzung von Elektroautos ist für mich finanziell günstiger	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



Ich nutze Elektrofahrzeuge ausschließlich privat	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ich nutze Elektrofahrzeuge auch beruflich	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektrofahrzeuge sind leiser als Autos mit Verbrennungsmotoren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Es gibt ausreichend Aufladestellen für die Fahrzeuge	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mit dem Elektrofahrzeug problemlos weitere Strecken wie Urlaub etc. zurücklegen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**8) Bewerten Sie die folgenden Aussagen jeweils danach, inwiefern Sie auf Ihre Erfahrungen mit dem Elektroauto zutreffen:**

	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	teils teils	stimme eher zu	stimme zu
Elektrofahrzeuge machen Spaß	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Elektromobilität ist eine umweltbewusste Art der Mobilität	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektrofahrzeuge tragen einen wesentlichen Beitrag zur Entlastung der Umwelt bei	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Fahren des Elektrofahrzeugs lässt sich gut mit meinen Gewohnheiten vereinbaren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**9) Wie beurteilen Sie die Ladeinfrastruktur?**

	nicht vorhanden	vorhanden, aber unzureichend	vorhanden und ausreichend
Lademöglichkeit am Arbeitsplatz	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lademöglichkeit zu Hause	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nutzbarkeit von Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**10) Wie wichtig ist Ihnen Mobilität im Allgemeinen. Bewerten Sie die folgenden Aussagen jeweils danach, inwiefern Sie ihnen zustimmen.**

	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	teils teils	stimme eher zu	Stimme zu
Ich will immer und jeder Zeit so mobil wie nur möglich sein.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eine umfassende Mobilität ist für mich nur gewährleistet, wenn ich ein eigenes Auto besitze.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ich bin sehr mobil und nutze dabei immer verschiedene Verkehrsmittel (Rad, Auto, Bahn, Tram, Bus).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mobilität ist mir nicht so wichtig.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin zwar sehr mobil, bewege mich aber meistens innerhalb meiner Region, in der ich wohne.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Seitdem ich Elektrofahrzeuge fahre, nutze ich wieder öfter ein Auto und weniger öffentliche Verkehrsmittel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**11) Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen zum Thema Umweltschutz zu?**

	stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu
Wenn wir so weitermachen, steuern wir auf eine Umweltkatastrophe zu.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Wir sollten nicht mehr Ressourcen verbrauchen als nachwachsen.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde es wichtig, dass die Politik und Industrie mehr Geld in die Entwicklung von umweltfreundlicheren Fahrzeugen steckt.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Umweltprobleme werden von vielen Umweltschützern stark übertrieben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wir BürgerInnen können durch unser Kaufverhalten viel zum Umweltschutz beitragen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ich bin bereit mehr Geld für umweltschonendere Mobilität auszugeben	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ich bin nur bereit mehr Geld für eine umweltfreundlichere Mobilität auszugeben, wenn dadurch für mich mehr Vorteile entstehen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Angaben zu Ihrer Person:

**Alter** \_\_\_\_\_ Jahre

**Geschlecht:**

weiblich       männlich       keine Angaben

**Höchster Schulabschluss:**

<input checked="" type="checkbox"/> kein Abschluss / gehe noch zur Schule
<input type="checkbox"/> Haupt-/Volksschulabschluss bzw. POS 8. Klasse
<input type="checkbox"/> Mittlere Reife / Realschulabschluss bzw. POS 10. Klasse
<input checked="" type="checkbox"/> Fachhochschulreife / Berufsausbildung mit Abitur / Allgemeine Hochschulreife / Abitur
<input checked="" type="checkbox"/> keine Angaben

**Anzahl der Personen im Haushalt:**

\_\_\_\_\_

**Anzahl der Kinder im Haushalt:**

\_\_\_\_\_

**Wohnortgröße:**

<input type="checkbox"/>	unter 5.000 EinwohnerInnen	<input type="checkbox"/>	100.000 bis unter 250.000 EinwohnerInnen
<input checked="" type="checkbox"/>	5.000 bis unter 20.000 EinwohnerInnen	<input checked="" type="checkbox"/>	250.000 bis unter 500.000 EinwohnerInnen
<input checked="" type="checkbox"/>	20.000 bis unter 50.000 EinwohnerInnen	<input type="checkbox"/>	500.000 und mehr EinwohnerInnen
<input checked="" type="checkbox"/>	50.000 bis unter 100.000 EinwohnerInnen	<input checked="" type="checkbox"/>	keine Angaben

**Nettohaushaltseinkommen pro Monat:**

<input checked="" type="checkbox"/>	unter 500 Euro	<input type="checkbox"/>	2.500 bis unter 3.000 Euro
<input type="checkbox"/>	500 bis unter 1.000 Euro	<input checked="" type="checkbox"/>	3.000 bis unter 4.000 Euro
<input type="checkbox"/>	1.000 bis unter 1.500 Euro	<input checked="" type="checkbox"/>	4.000 bis unter 5.000 Euro
<input type="checkbox"/>	1.500 bis unter 2.000 Euro	<input type="checkbox"/>	5.000 und mehr Euro
<input checked="" type="checkbox"/>	2.000 bis unter 2.500 Euro	<input type="checkbox"/>	keine Angaben



**5) Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich mit dem Elektrofahrzeug pro Fahrt?**

Angaben in Prozent (%)

weniger als 10 km	42
10-30 km	36
30-50 km	17
50-100 km	5
mehr als 100 km	0
keine Angaben	0

**5a) Schätzen Sie bitte einmal die weiteste Strecke, die Sie mit dem Elektrofahrzeug bisher zurückgelegt haben?**

Minimum 10 km; Maximum 122 km, Durchschnitt: 48 km

**6) Alles in allem, wie zufrieden sind Sie mit dem Elektrofahrzeug? (Angaben in Prozent %)**

voll und ganz zufrieden	22
sehr zufrieden	37
eher zufrieden	31
eher unzufrieden	5
sehr unzufrieden	4
voll und ganz unzufrieden	1
keine Angaben	0

**7) Bewerten Sie die folgenden Aussagen jeweils danach, inwiefern Sie auf Ihre Erfahrungen mit Elektromobilität zutreffen: (Angaben in Prozent %)**

	stimme nicht zu	stimme nicht zu	eher teils	teils	stimme eher zu	stimme zu
Die Reichweite von Elektrofahrzeugen ist absolut ausreichend	12	43	17	23	5	
Elektrofahrzeuge zu fahren ist einfach und unkompliziert	1	3	15	56	25	
Die Bedienung der Ladetechnik ist schwierig	10	15	43	27	5	
Die Nutzung von Elektroautos ist für mich finanziell günstiger	3	10	14	60	13	

Ich nutze Elektrofahrzeuge ausschließlich privat	33	47	10	7	3
Ich nutze Elektrofahrzeuge auch beruflich	12	12	45	9	22
Elektrofahrzeuge sind leiser als Autos mit Verbrennungsmotoren	5	6	27	35	27
Es gibt ausreichend Aufladestellen für die Fahrzeuge	17	23	25	32	3
Ich kann mit dem Elektrofahrzeug problemlos weitere Strecken wie Urlaub etc. zurücklegen	55	32	1	9	3

**8) Bewerten Sie die folgenden Aussagen jeweils danach, inwiefern Sie auf Ihre Erfahrungen mit dem Elektroauto zutreffen: (Angaben in Prozent %)**

	stimme nicht zu	stimme nicht zu	eher teils teils	stimme zu	eher stimme zu
Elektrofahrzeuge machen Spaß	0	0	22	36	42
Elektromobilität ist eine umweltbewusste Art der Mobilität	1	3	29	44	23
Elektrofahrzeuge tragen einen wesentlichen Beitrag zur Entlastung der Umwelt bei	7	20	35	23	15
Das Fahren des Elektrofahrzeugs lässt sich gut mit meinen Gewohnheiten vereinbaren	2	5	23	65	5

**9) Wie beurteilen Sie die Ladeinfrastruktur? (Angaben in Prozent %)**

	nicht vorhanden	vorhanden, aber unzureichend	vorhanden und ausreichend
Lademöglichkeit am Arbeitsplatz	70	25	5
Lademöglichkeit zu Hause	15	23	67
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum	2	45	53
Nutzbarkeit von Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum	10	65	25

**10) Wie wichtig ist Ihnen Mobilität im Allgemeinen. Bewerten Sie die folgenden Aussagen jeweils danach, inwiefern Sie ihnen zustimmen. (Angaben in Prozent %)**

	stimme nicht zu	stimme nicht zu	eher teils teils	stimme eher zu	Stimme zu
Ich will immer und jeder Zeit so mobil wie nur möglich sein.	0	4	12	55	29
Eine umfassende Mobilität ist für mich nur gewährleistet, wenn ich ein eigenes Auto besitze.	7	14	16	48	15
Ich bin sehr mobil und nutze dabei immer verschiedene Verkehrsmittel (Rad, Auto, Bahn, Tram, Bus).	0	3	25	42	30
Mobilität ist mir nicht so wichtig.	55	22	17	6	0
Ich bin zwar sehr mobil, bewege mich aber meistens innerhalb meiner Region, in der ich wohne.	20	16	60	3	1
Seitdem ich Elektrofahrzeuge fahre, nutze ich wieder öfter ein Auto und weniger öffentliche Verkehrsmittel	6	33	30	23	8

**11) Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen zum Thema Umweltschutz zu? (Angaben in Prozent %)**

	stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu
Wenn wir so weitermachen, steuern wir auf eine Umweltkatastrophe zu.	2	5	16	25	34	18
Wir sollten nicht mehr Ressourcen verbrauchen als nachwachsen.	0	1	5	35	27	32
Ich finde es wichtig, dass die Politik und Industrie mehr Geld in die Entwicklung von umweltfreundlicheren Fahrzeugen steckt.	1	2	5	45	33	14



Umweltprobleme werden von vielen Umweltschützern stark übertrieben.	12	36	23	22	6	2
Wir BürgerInnen können durch unser Kaufverhalten viel zum Umweltschutz beitragen.	10	12	25	29	14	10
Ich bin bereit mehr Geld für umweltschonendere Mobilität auszugeben	14	12	23	33	13	5
Ich bin nur bereit mehr Geld für eine umweltfreundlichere Mobilität auszugeben, wenn dadurch für mich mehr Vorteile entstehen	8	6	23	33	25	5

Angaben zu Ihrer Person:

**Alter im Durchschnitt**                      42,48 Jahre

**Geschlecht: (Angaben in Prozent %)**

weiblich    45                      männlich    55                      keine        0  
Angaben

**Höchster Schulabschluss:**                      **Angaben in Prozent (%)**

kein Abschluss / gehe noch zur Schule	0
Haupt-/Volksschulabschluss bzw. POS 8. Klasse	15
Mittlere Reife / Realschulabschluss bzw. POS 10. Klasse	38
Fachhochschulreife / Berufsausbildung mit Abitur / Allgemeine Hochschulreife / Abitur	47
keine Angaben	0

**Anzahl der Personen im Haushalt:**

Durchschnittlich 3,11 Personen, Minimum: 1, Maximum: 6 Personen

**Anzahl der Kinder im Haushalt:**

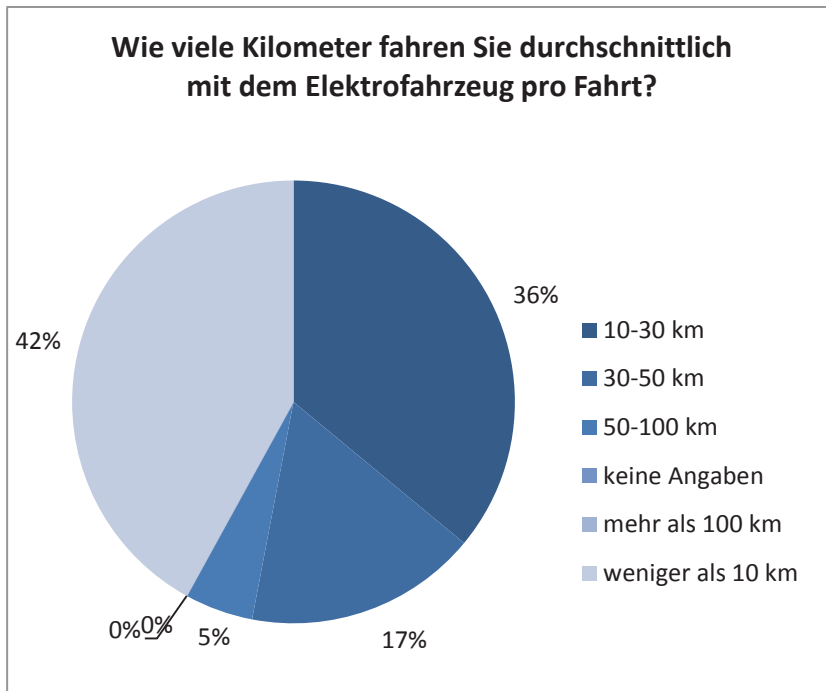
Durchschnittlich 1,04 Kinder pro Haushalt, wobei 58% mit Kindern und 42% ohne Kinder im Haushalt leben.

<b>Wohnortgröße:</b>	<b>Angaben in Prozent (%)</b>
unter 5.000 EinwohnerInnen	1
5.000 bis unter 20.000 EinwohnerInnen	38
20.000 bis unter 50.000 EinwohnerInnen	10
50.000 bis unter 100.000 EinwohnerInnen	6
100.000 bis unter 250.000 EinwohnerInnen	7
250.000 bis unter 500.000 EinwohnerInnen	5
500.000 und mehr EinwohnerInnen	33
keine Angaben	0

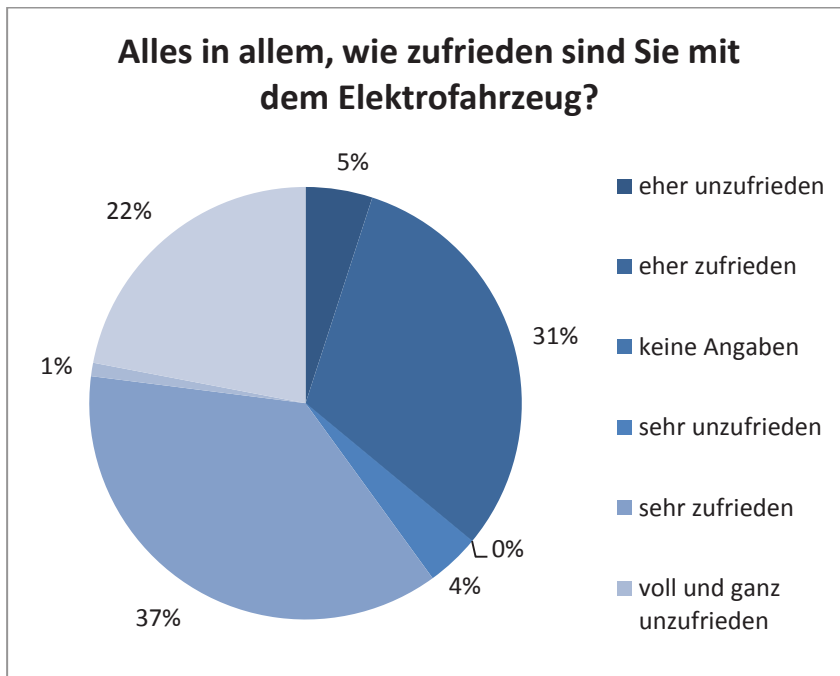
<b>Nettohaushaltseinkommen pro Monat:</b>	<b>Angaben in Prozent (%)</b>
unter 500 Euro	3
500 bis unter 1.000 Euro	7
1.000 bis unter 1.500 Euro	8
1.500 bis unter 2.000 Euro	25
2.000 bis unter 2.500 Euro	23
2.500 bis unter 3.000 Euro	13
3.000 bis unter 4.000 Euro	15
4.000 bis unter 5.000 Euro	6
5.000 und mehr Euro	0
keine Angaben	0

### 4.3 Auswertung und Grafiken

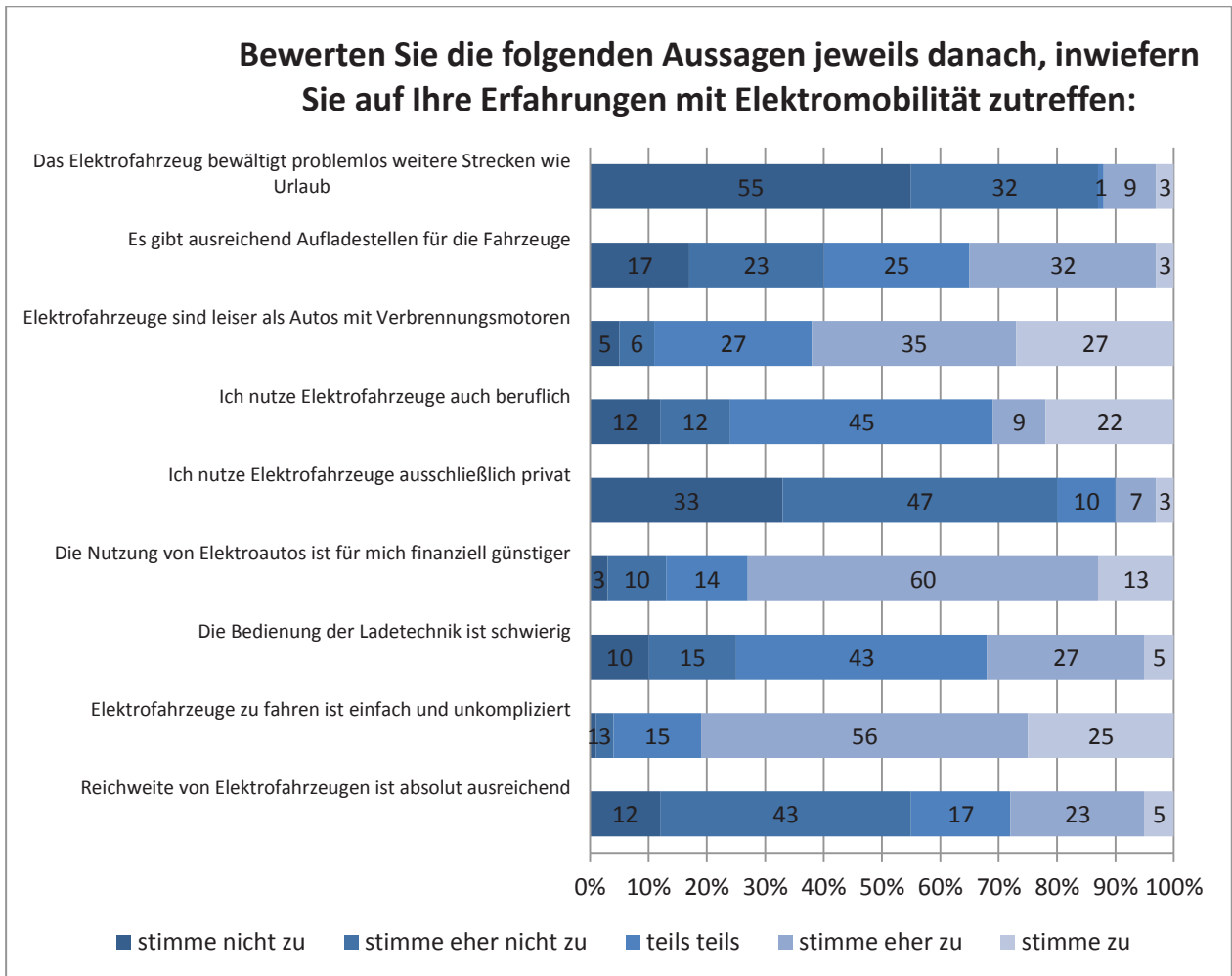
Frage 5



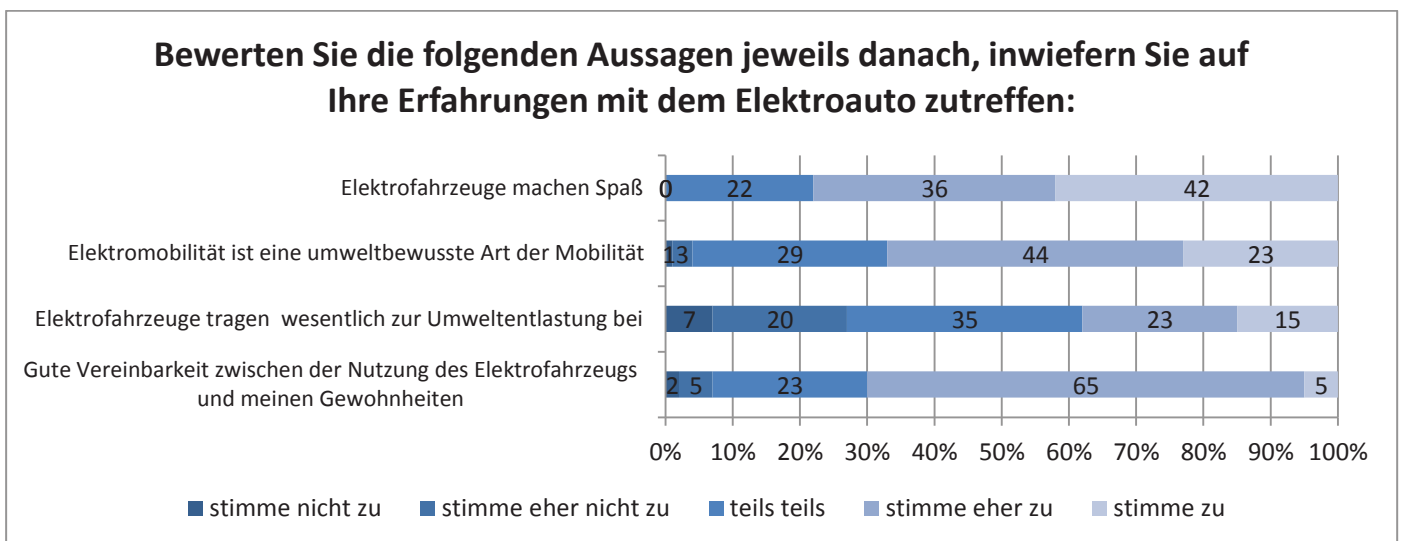
Frage 6



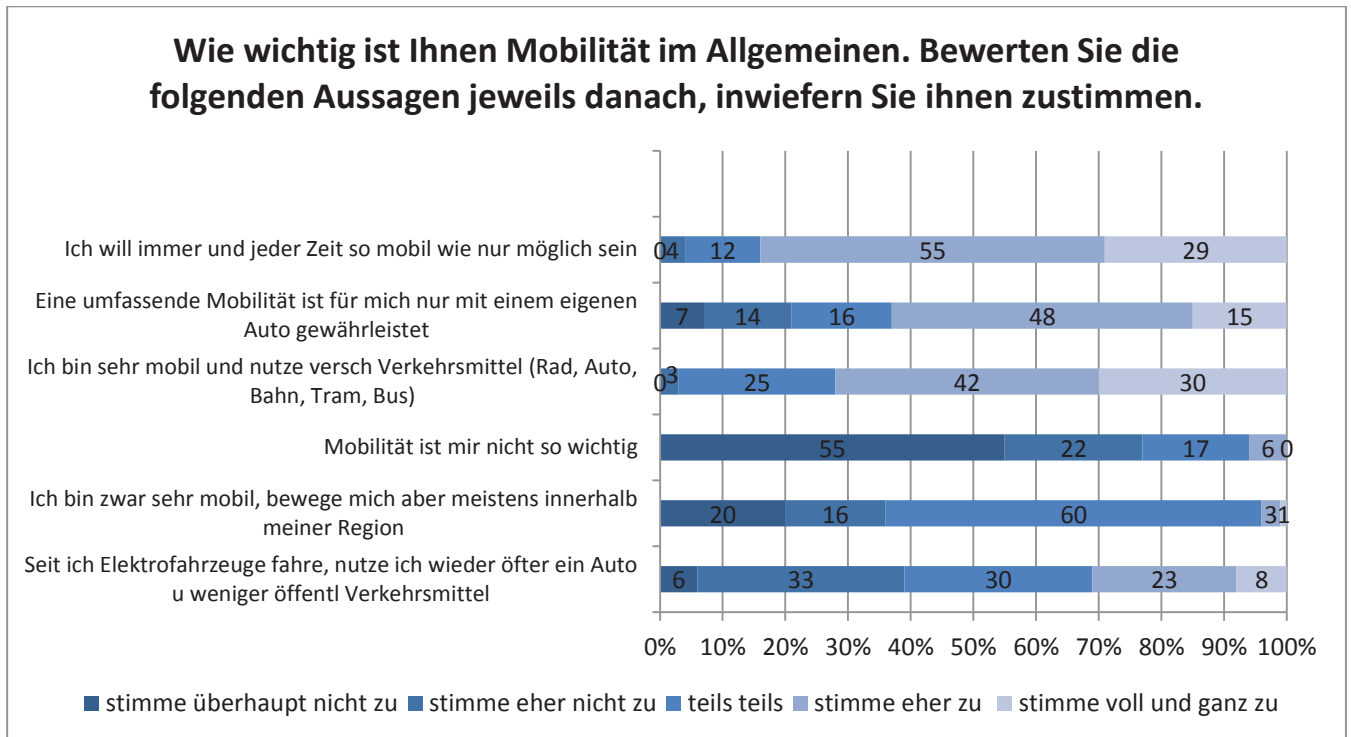
Frage 7



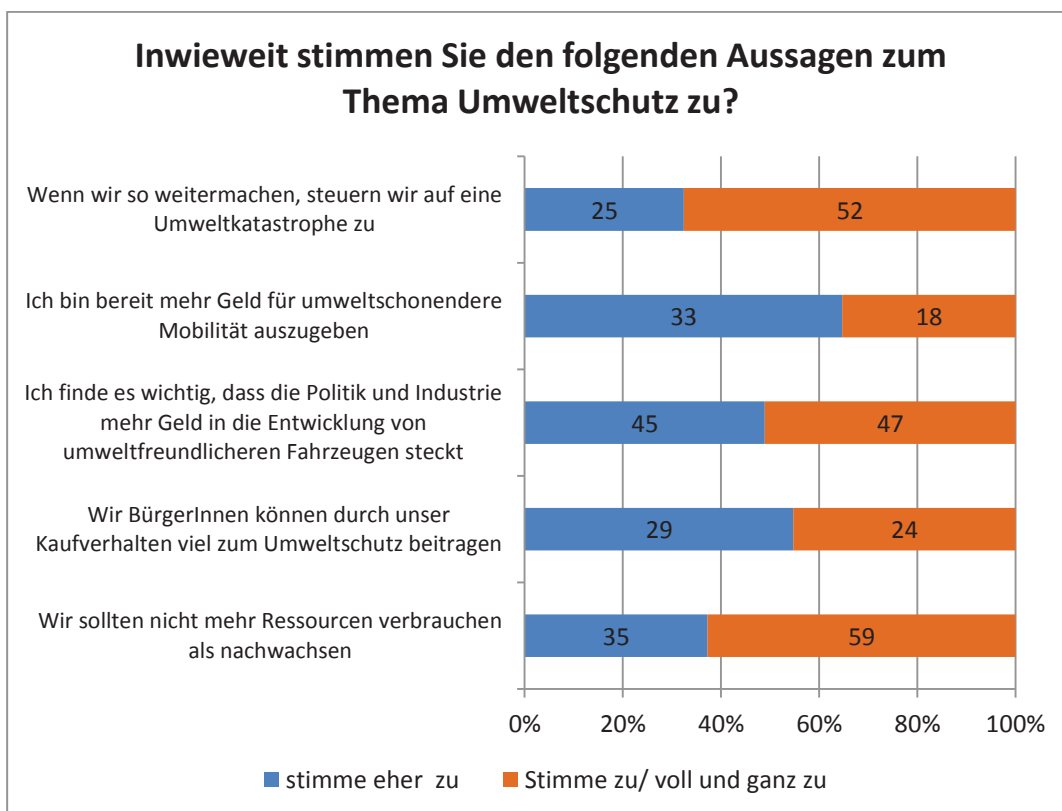
Frage 8



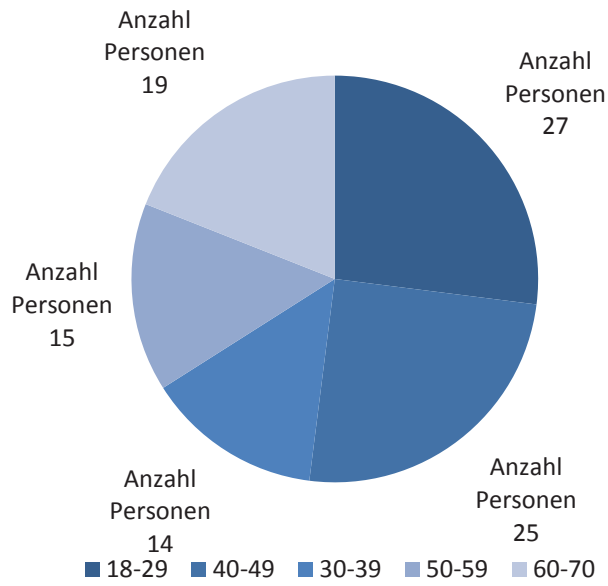
Frage 10



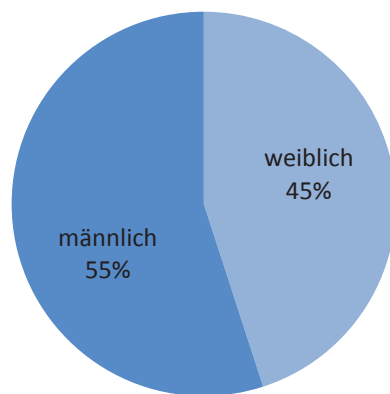
11



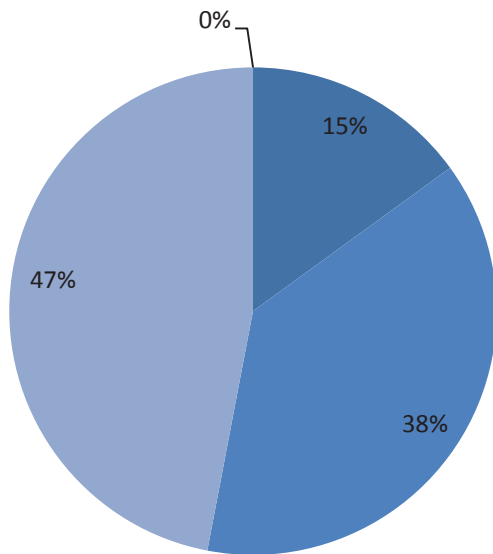
### Alter der Befragten



### Anzahl weiblicher und männlicher Teilnehmer

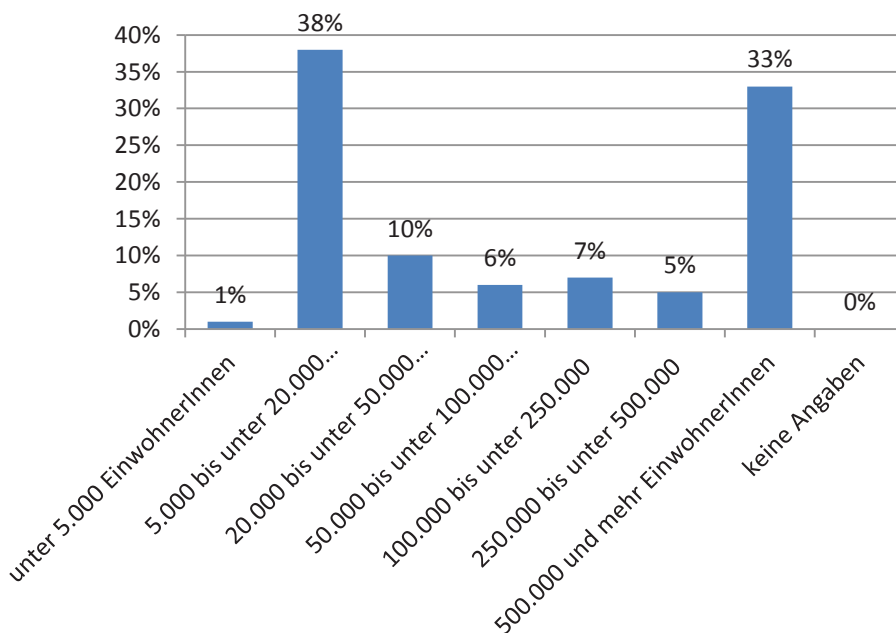


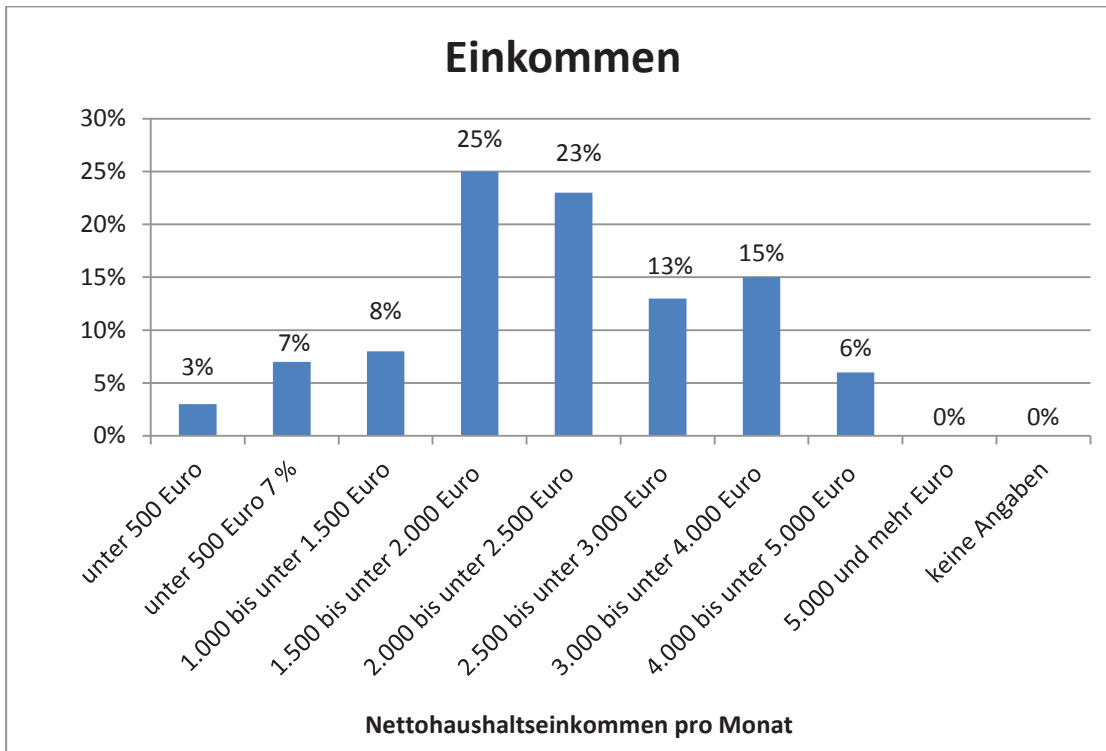
### Höchster Schulabschluss



- kein Abschluss / gehe noch zur Schule
- Haupt-/Volksschulabschluss bzw. POS 8. Klasse
- Mittlere Reife / Realschulabschluss bzw. POS 10. Klasse
- Fachhochschulreife / Berufsausbildung mit Abitur / Allgemeine Hochschulreife / Abitur

### Wohnortgröße







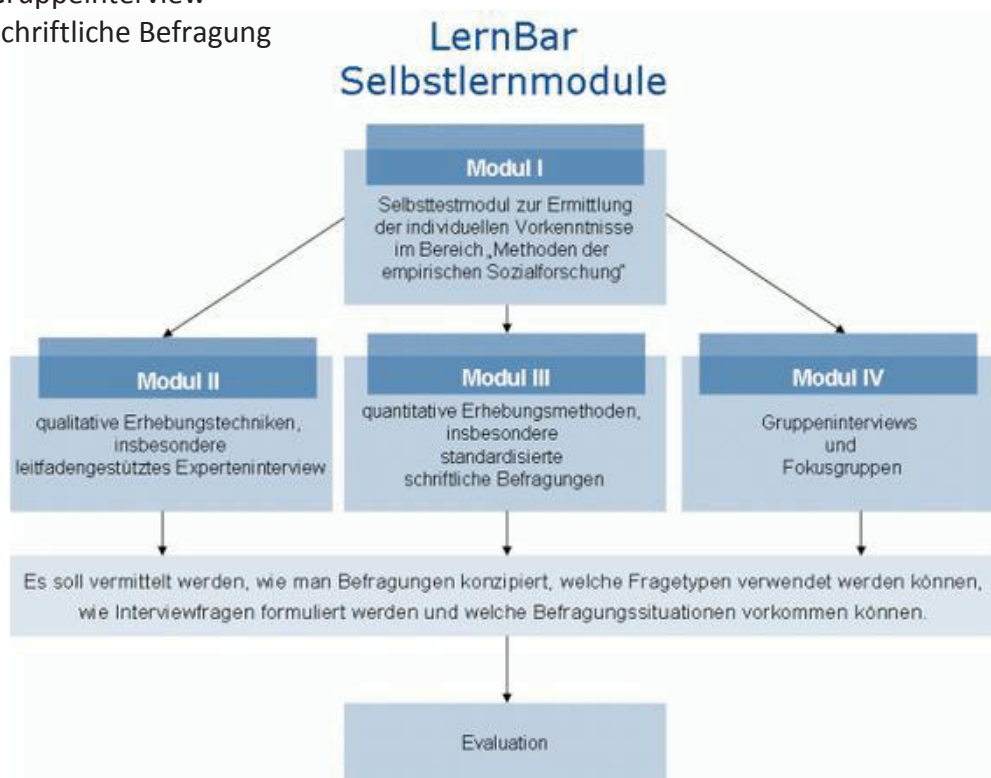
## 5 eLearning-Tool – Social Research Skills

Das eLearning-Tool "Social Research Skills"<sup>1</sup> ist ein Selbstlernkurs für Studierende zu den grundlegenden sozialwissenschaftlichen Methoden- und Forschungskompetenzen.

Ein Einstiegsmodul bietet einen Selbsttest, mit dem bereits vorhandene Methodenkompetenzen überprüft und Wissenslücken erkannt werden können. In drei weiteren Modulen wird interaktiv basales Methodenwissen aus den Bereichen „Experteninterview“, „standardisierte schriftliche Befragung“ und „Gruppeninterview / Fokusgruppe“ vermittelt.

Methoden- und Forschungskompetenzen interaktiv erlernen, überprüfen, weiterentwickeln und intensivieren.

- ✓ Selbsttest
- ✓ Qualitative Methoden (Basiswissen)
- ✓ Quantitative Methoden (Basiswissen)
- ✓ Experteninterview
- ✓ Gruppenterview
- ✓ Schriftliche Befragung



eLearning-Tool „Social Research Skills“ unter:

<http://www.fb03.uni-frankfurt.de/46309673/eLearning>

<sup>1</sup> Entwickelt von: Prof. Dr. Birgit Blätzel-Mink, Dr. Raphael Menez, Daniel Kahnert, Eva Rabe und Alexander Ulrich.

Gefördert von: StudiumDigitale - eLearning Förderfonds, Goethe-Universität Frankfurt am Main.

## *Teil 2:*

# *Elektromobilität in der Physik - Bau eines Elektromotors*

Goethe-Universität Frankfurt am Main  
GoetheLab vom – Teilprojekt Elektromobilität

**Elektromobilität in der Physik - Bau eines Elektromotors**

Team:

Goethe-Universität Frankfurt am Main  
Fachbereich Physik | Institut für Didaktik der Physik  
Campus Riedberg  
Max-von-Laue-Str. 1  
60438 Frankfurt am Main

Prof. Dr. Thomas Wilhelm | Michael Wenzel

Kontakt:

>> <http://www.thomas-wilhelm.net/>

Frankfurt am Main, Januar 2017

Es gibt immer mehr Elektroautos und viele sehen darin die Zukunft unserer Mobilität. Außerdem gibt es Elektrofahrräder, Pedelecs und ein E-Schneemobil namens „Go-Snow“. Sie alle haben keinen Benzinmotor, sondern einen Elektromotor.

Elektromotoren sind Maschinen, bei denen elektrische Energie in kinetische Energie der Rotation umgewandelt wird. Es gibt sehr viele verschiedene Arten von Elektromotoren. Der Vielzahl der Motortypen ist ein Grundprinzip gemeinsam: Das Magnetfeld eines feststehenden Teils wechselwirkt mit dem Magnetfeld eines rotierenden Teils.

Folgende Begriffe brauchst du in diesem Schülerlabor:

- Der feststehende Teil heißt Stator (oder Ständer),
- der rotierende Teil heißt Rotor (oder Läufer).

In diesem Schülerlabor werden nur zwei verschiedene Motortypen behandelt:

- Der Stromwendermotor, den du schon in der Schule behandelt hast (Sie befinden sich in Haushaltsgeräten wie Föhn, Mixer, Bohrmaschine oder Waschmaschine),
- der Synchronmotor, der heute in Elektroautos verbaut ist.

Das Physik-Schülerlabor besteht aus drei Stationen:

Station 1: Hier wird der Stromwendermotor aus der Schule wiederholt.

Station 2: Du baust selbst einen Stromwendermotor.

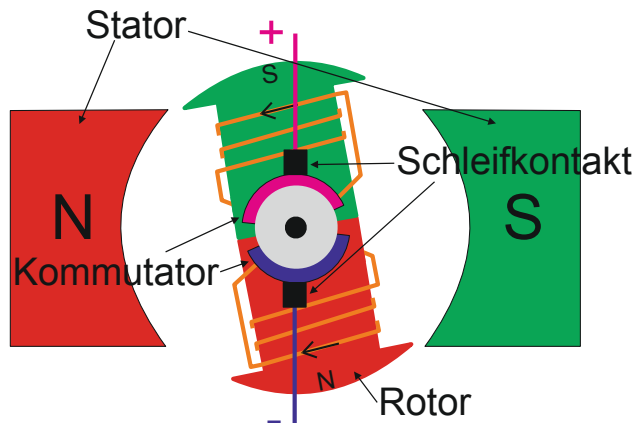
Station 3: Hier lernst du den Synchronmotor kennen, der sich in Elektroautos befindet.

## Station 1

### *Stromwendermotor mit Dauermagneten und verschiedenen Rotoren*

#### Aufgabe 1: Animation

Betrachte die Animation Stromwendermotor.avi auf dem Laptop.

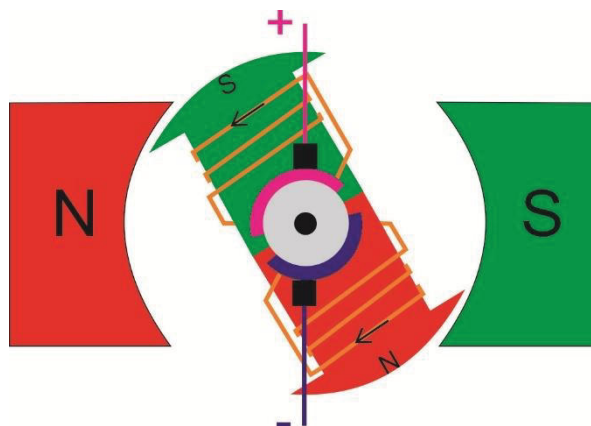


Der außen fest stehende Stator besteht hier aus einem Dauermagneten, dessen Magnetfeld sich nicht ändert. Der Rotor besteht aus einer stromdurchflossenen Spule mit einem Eisenkern, die auch ein Magnetfeld erzeugt. Eine Spule mit einem Eisenkern wird als Elektromagnet bezeichnet. Der Strom fließt über einen Schleifkontakt von außen zur Spule, durch diese hindurch und wieder nach außen.

Betrachte die Animation und beantworte die folgenden Fragen.

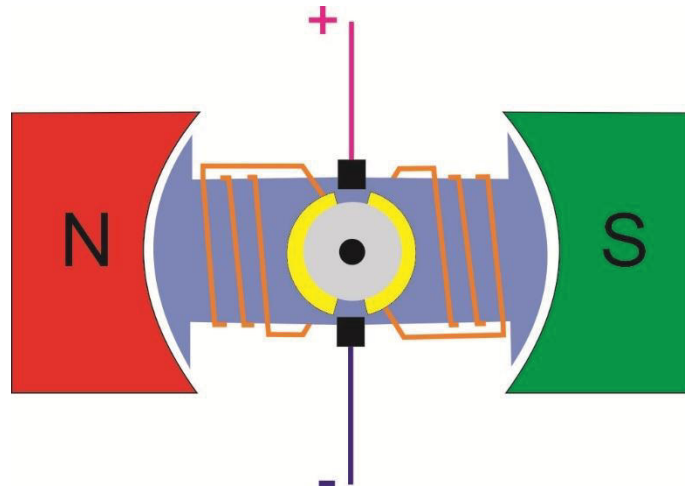


Warum wird hier eine Kraft auf den Rotor ausgeübt? In welche Richtung? In welche Richtung dreht sich deshalb der Rotor?





Warum gibt es kurz danach in dieser Stellung keine Kraft auf den Rotor? Warum dreht er sich trotzdem weiter?

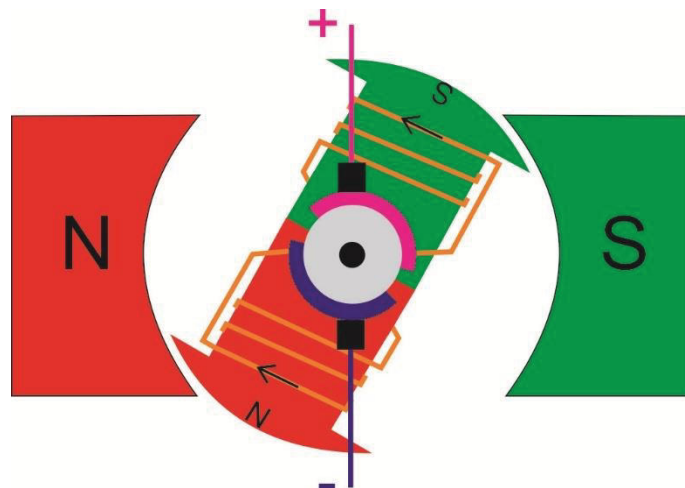


---

---



Welche Richtung hat die Kraft auf den Rotor nochmals kurz danach? Was war dazu nötig? Was kann man über die Stromrichtung in der Spule des Rotors sagen?



---

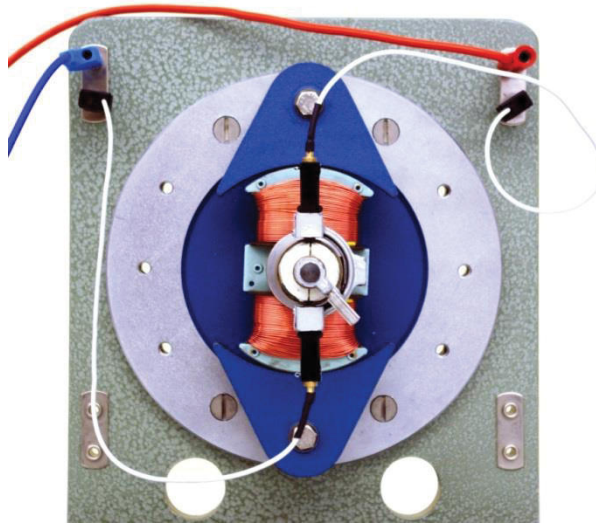
---

---

---

Weil die Stromrichtung in der Spule des Rotors immer wieder geschickt umgepolt wird, heißt dieser Motor „Stromwendermotor“. Der Fachbegriff für den Stromwender ist „Kommutator“.

### Aufgabe 2: Doppel-T-Anker



Baue dem Bild entsprechend einen Stromwendermotor mit Dauermagneten als Stator und einem Doppel-T-Anker als Rotor auf. Die Dauermagneten des Stators befinden sich unter den blauen Eisenstücken.

Zum Wechseln des Rotors musst du die Spannung auf Null drehen und die Schleifkontakte, die aus schwarzem Graphit bestehen, aus der Halterung ziehen. Dann kannst du die silberne Schraube ganz vorne an der Achse lockern und die Halterung von der Achse nehmen. Denk daran, nach dem Aufstecken des Rotors die Schraube wieder anzuziehen und die Schleifkontakte wieder in die Halterung zu stecken. Die Schleifkontakte sind gefedert, um einen andauernden Kontakt zum Kommutator zu halten.

Zum Betreiben des Motors, kannst du die Spannung zwischen 2 V und 5 V variieren. Da der Rotor beim Abschalten meistens in der Stellung stehenbleibt, in der er gerade nicht vom Strom durchflossen wird, muss er beim Anschalten meistens von Hand angeschoben werden.



Warum ist der Motor in dieser Bauweise nicht für Haushaltsgeräte geeignet?

---

---

---

Bei diesem Gerät lässt sich verstellen, bei welcher Stellung des Rotors dieser umgepolt wird. Probiere nacheinander bei ca. 4 V verschiedene Stellungen aus, indem du die silberne Schraube lockerst und die Halterung verdrehst.

Teste insbesondere die drei Winkel 0°, 45° und 90°, die zwischen den blauen Magnetpolen des Stators und den schwarzen Schleifkontakten gebildet werden.



Wie reagiert der Doppel-T-Anker bei Betrieb mit diesen drei Winkeln?

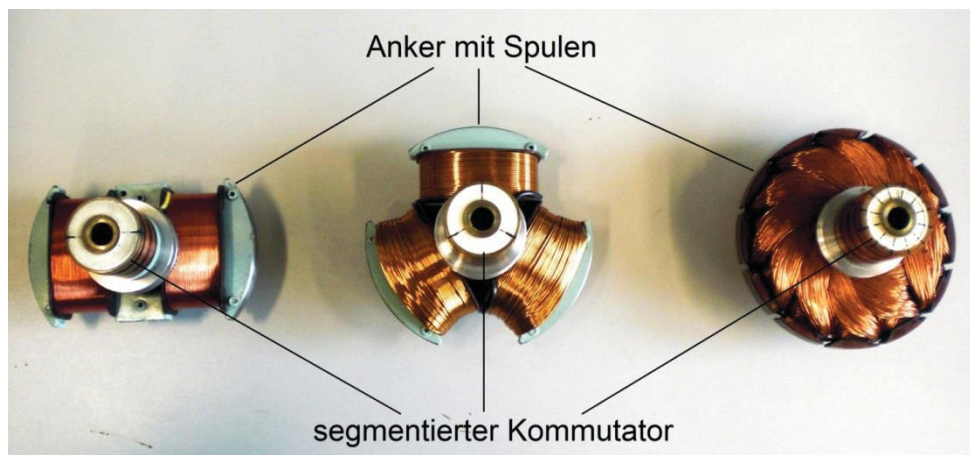
Winkel zwischen Magnetpolen und Schleifkontakten	Laufweise des Doppel-T-Ankers
0°	
45°	
90°	



Warum ist das so?

### Aufgabe 3: Der 3-T-Anker

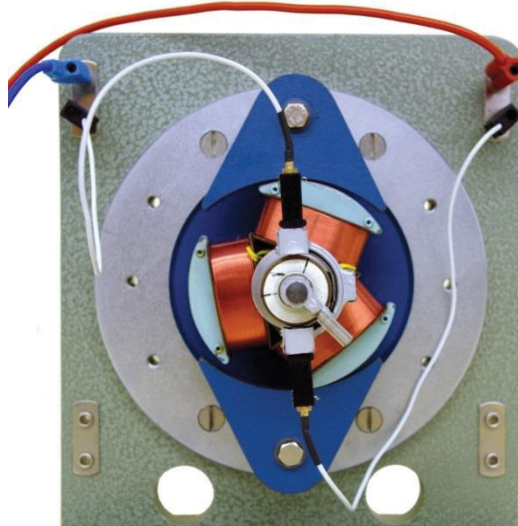
Damit der Rotor von selbst anläuft, werden Rotoren mit mehreren Ankern verwendet. Dann ist sichergestellt, dass immer einige gerade stromdurchflossen sind.



Rotortypen: Doppel-T-Anker, 3-T-Anker und 12-T-Anker (Die Anzahl der Segmente auf dem Kommutator entspricht hier der Anzahl der Anker.)



Die technisch einfachste Variante ist der 3-T-Anker. Er besteht aus drei Spulen, die im Winkel von  $120^\circ$  angeordnet sind. Dreht man den Läufer, so werden die einzelnen Spulen der Reihe nach umgepolt. Die genaue Schaltung ist dabei jedoch kompliziert.



Baue entsprechend dem Bild einen Stromwendermotor mit Dauermagneten und einem 3-T-Anker. Zum Wechseln des Rotors musst du 1. die Spannung auf Null drehen und 2. die Schleifkontakte, die aus schwarzem Graphit bestehen, aus der Halterung ziehen. Dann kannst du die silberne Schraube ganz vorne an der Achse lockern und die Halterung von der Achse nehmen. Nun liegt der Rotor frei und kann ausgetauscht werden.

Stecke den 3-T-Anker auf die Achse und setze die Halterung wieder auf. Erst jetzt dürfen die schwarzen Schleifkontakte wieder in die Halterung gedrückt werden!! Sie würden brechen, wenn sie mit der Halterung aufgesetzt würden. Denke daran, nach dem Aufstecken des Rotors die Schraube wieder anzuziehen, um die Schleifkontakte zu fixieren. Betreibe den 3-T-Anker mit der oben ermittelten optimalen Stellung der Bürsten zu den Polschuhen.



Sind beim Anlaufen und beim Betrieb Unterschiede zwischen dem 3-T-Anker und dem Doppel-T-Anker festzustellen? Wenn ja, welche?

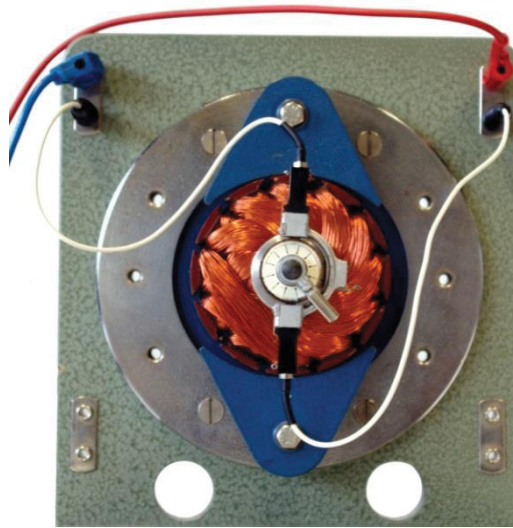
---

---

---

---

#### Aufgabe 4: Trommelanker (12-T-Anker)



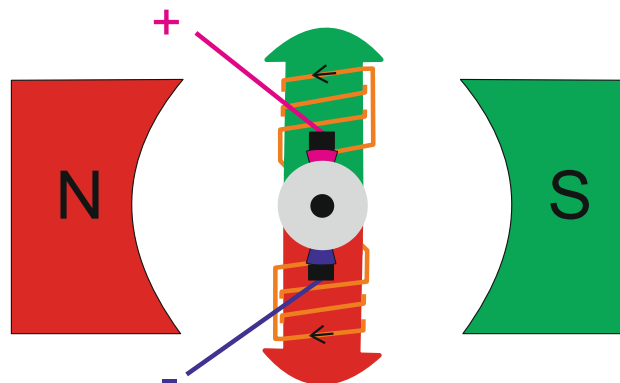
Verwende nun den 12-T-Anker, indem du wieder erst die Spannung ausschaltest, dann die schwarzen Schleifkontakte aus der Halterung nimmst und dann die Halterung abziehst. Betreibe ihn in optimaler Position der Schleifkontakte.



Sind beim Anlaufen und beim Betrieb Unterschiede zwischen dem 3-T-Anker und dem 12-T-Anker festzustellen? Wenn ja, welche?

Bei Trommelankern mit mehr als drei Ankern sind diese meist so geschaltet, dass immer nur ein Doppel-T-Anker das Magnetfeld erzeugt. Dreht man den Läufer, so werden die einzelnen Spulen der Reihe nach an- bzw. abgeschaltet. Es ist immer gerade der Doppel-T-Anker stromdurchflossen, der optimal steht.

Hier sind nur die beiden stromdurchflossenen Anker gezeichnet, die anderen fehlen:

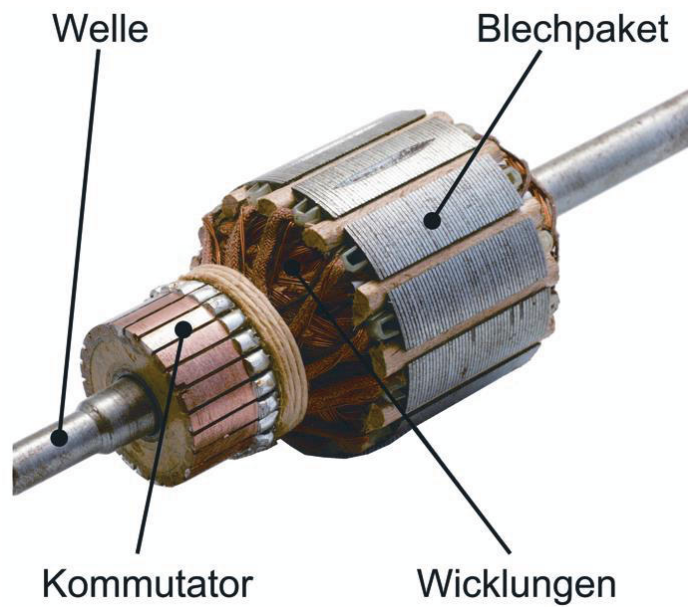




Warum wählt man gerade diesen Doppel-T-Anker aus?

---

---



Was könnte der Vorteil davon sein, mehrere Anker am Rotor eines Stromwendermotors zu verbauen?

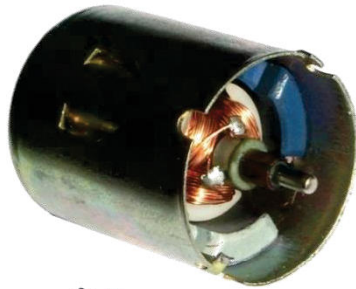
---

---

### Aufgabe 5: Elektromotore aus dem Haushalt

Auf dem Tisch liegen Elektromotore aus verschiedenen Haushaltsgeräten:

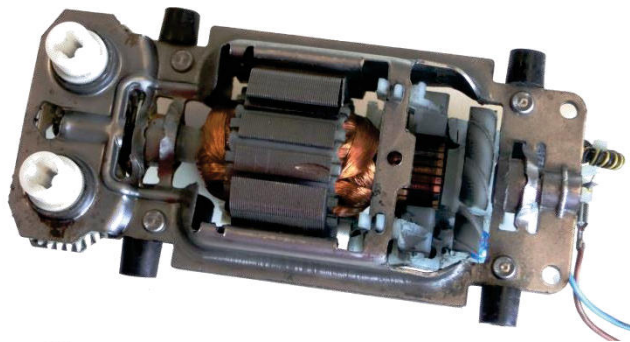
- aus einem Föhn



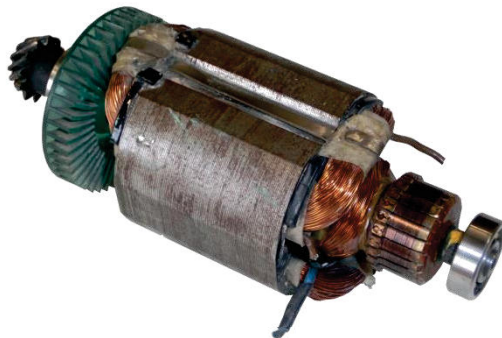
- aus einem Stabmixer



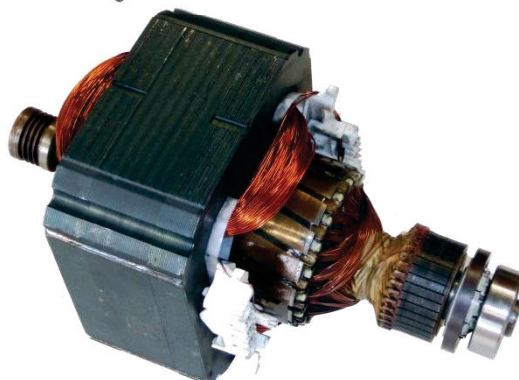
- aus einem Handrührgerät



- aus einer Flex



- und aus einer Waschmaschine



Versuche die folgenden Bezeichnungen in den verschiedenen Motoren wiederzufinden:

- Rotor
- Stator
- Kommutator

Untersuche die Elektromotore:

- Wie wird das Magnetfeld im Rotor sowie im Stator erzeugt?
- Die Anzahl der T-Anker im Rotor und die Anzahl von Segmenten auf dem Kommutator



Notiere deine Ergebnisse:

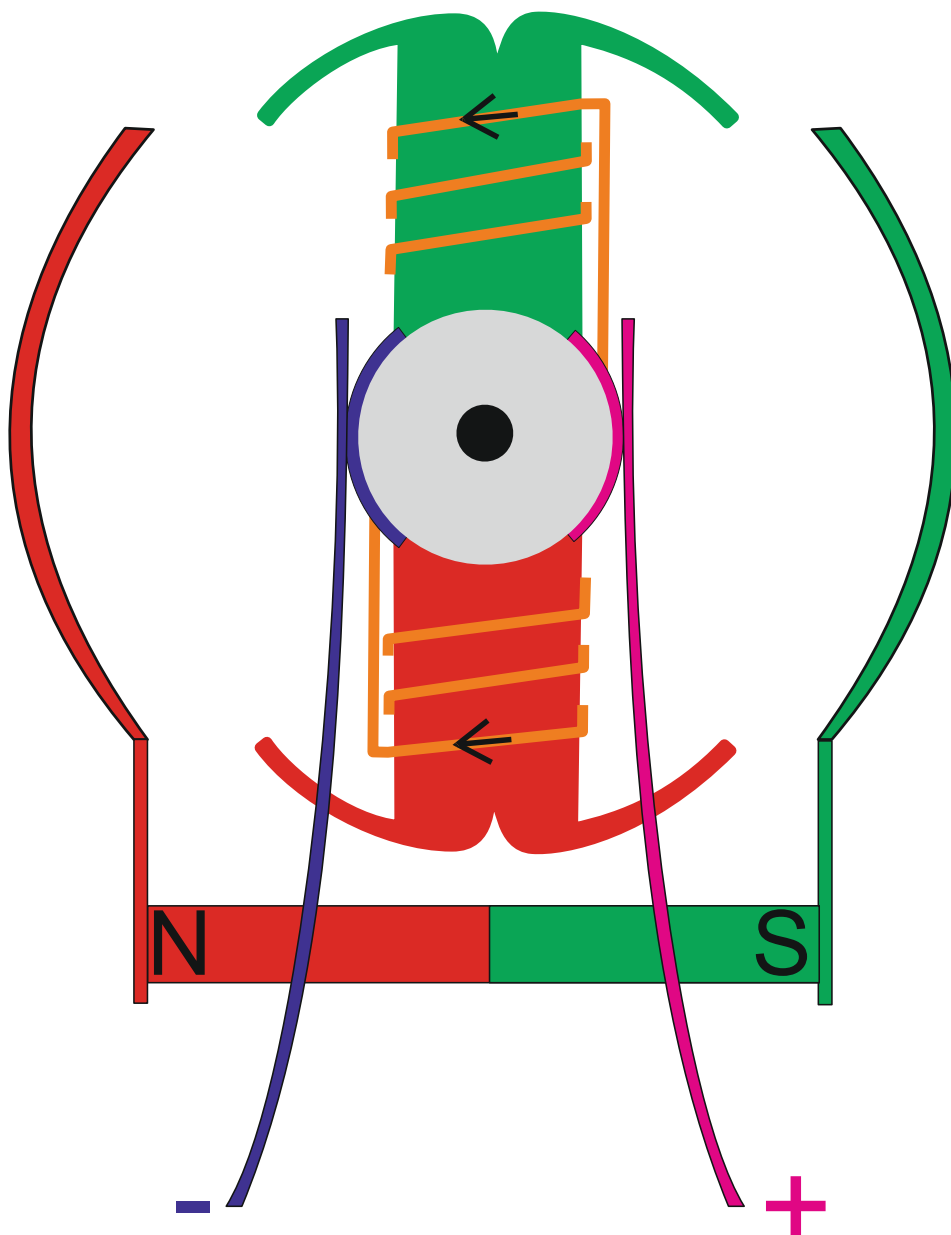
	Besteht der Stator aus einem Dauermagneten oder einem Elektromagneten?	Besteht der Rotor aus einem Dauermagneten oder einem Elektromagneten?	Aus wie vielen Ts besteht der Rotor?	Aus wie vielen Segmenten besteht der Kommutator?
Föhn				
Stabmixer				
Handrührgerät				
Flex				
Waschmaschine				



## Aufgabe 2: Untersuchung des gebauten Stromwendermotors

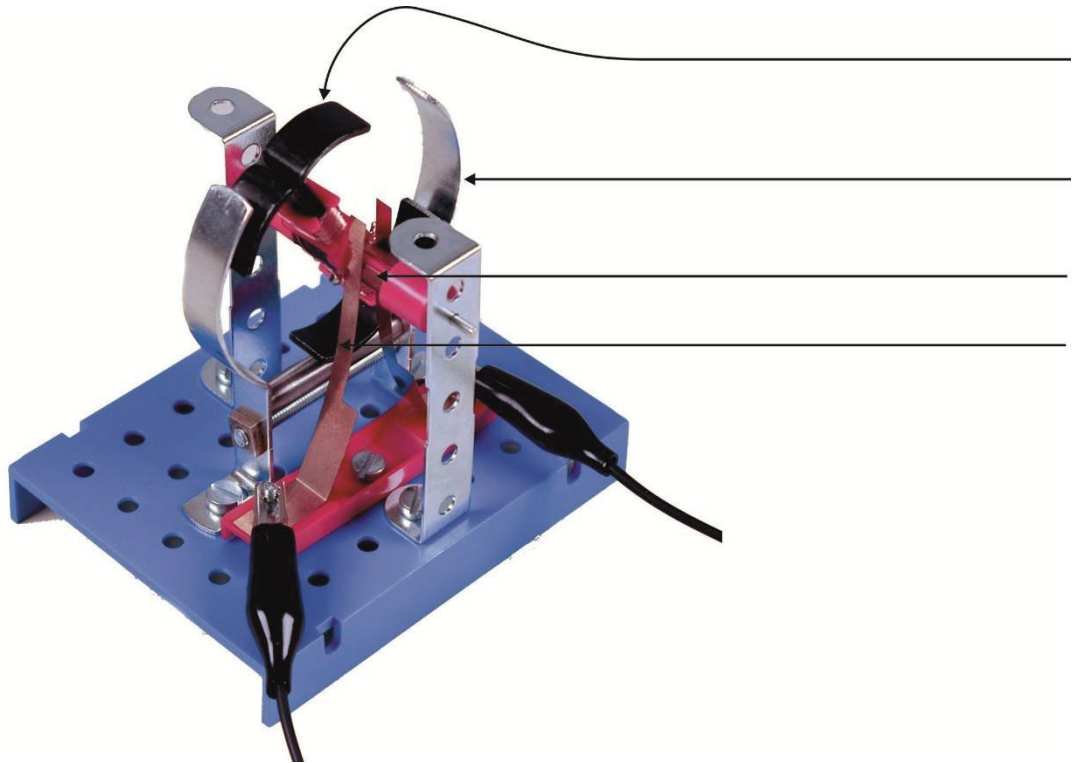
Suche folgende Bauteile:

- den Stator: feststehenden Teil, bestehend aus einem Dauermagneten und anschließenden Eisenstücken
- den Rotor: beweglicher Teil, bestehend aus Spule mit Eisen, das über die Spule hinausgeht (Anker)
- den Kommutator: sich mitdrehende Kontakte
- die feststehenden Schleifkontakte, die von außen an den rotierenden Kommutator ange-drückt werden

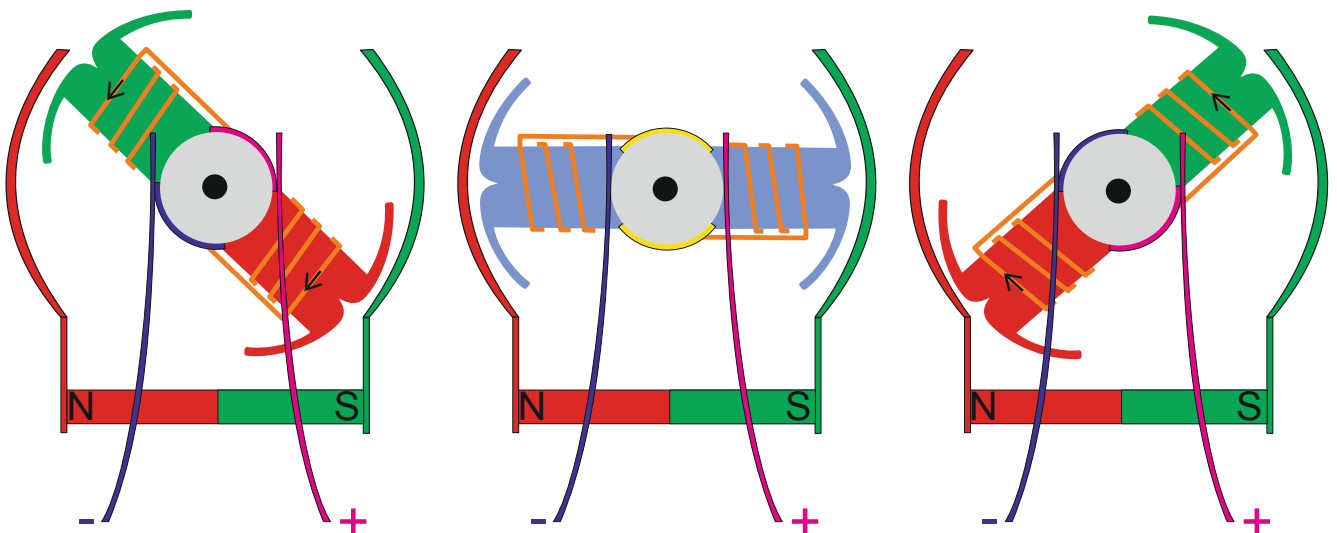




Beschrifte die Bauteile des Motors:



Versuche nun, die unten gezeigten drei Teilschritte beim Umpolen an dem Modell nachzuvollziehen. Drehe dazu den Rotor langsam mit der Hand und beobachte dabei die Kontakte am Stromwender.







Nach welcher Geschwindigkeit richtet sich die Änderung der Stromrichtung im Rotor?

---

---



Wieso würde ein solcher Motor nicht in einem echten Gerät Verwendung finden?

---

---

---



Notiere weitere Nachteile des gebauten Motors.

---

---

---

## Station 3:

---

### *Synchronmotor*

In einem Elektroauto ist kein Stromwendermotor, sondern ein Synchronmotor verbaut.

#### **Aufgabe 1: Stabmagnet in der Hand**

Lege einen Kompass auf den Tisch und nimm einen Stabmagneten in die Hand. Versuche den Stabmagneten so zu bewegen, dass sich die Kompassnadel im Kreis dreht. Achtung! Berühre mit dem Stabmagneten nicht den Kompass!



Wie musst du den Stabmagneten bewegen, damit sich die Kompassnadel im Kreis dreht?

---



---

#### **Aufgabe 2: Rotierender Hufeisenmagnet**

Das war natürlich sehr unpraktisch. Die Kompassnadel soll sich allein drehen.

Hänge dazu einen Hufeisenmagneten an eine Schnur so auf, dass der Hufeisenmagnet knapp über dem Kompass hängt. Der Kompass soll genau mittig unter dem Hufeisenmagneten auf der Tischplatte liegen.

Bringe den Hufeisenmagneten nun in Rotation, indem du ihn einige Male um seine Längsachse drehst und dann wieder loslässt. Nun drehen sich die Pole des Magneten um die Kompassnadel.



Wie dreht sich die Kompassnadel im Vergleich zum Hufeisenmagneten? Vergleiche die Drehgeschwindigkeiten!

---



---



Wieso nennt man den Motor, der nach diesem Modell arbeitet, **Synchron**motor?

---



---

### Aufgabe 3: Magnetrührer

Auf einen Magnetrührer werden von Chemikern Gläser mit Flüssigkeiten gestellt, die umgerührt werden sollen. Gibt man in das Gefäß einen Magneten, dreht sich dieser, da in dem Rührer auch ein sich drehendes Magnetfeld erzeugt wird (in der Fotomontage kann man ins Innere schauen).

Stelle eine Kompassnadel auf den Magnetrührer und erhöhe ganz langsam die Drehzahl.



Die Schleifkontakte eines Stromwendermotors (Station 1 und 2) sind beim Betrieb des Motors ständiger Belastung ausgesetzt. Wie ihr Name schon sagt, schleifen sie und werden so mit der Zeit abgerieben und verbraucht. Außerdem kann es Funkenüberschläge geben, die besonders bei großen Motorleistungen erheblichen Verschleiß verursachen. Durch eine übermäßige Funkenbildung entsteht Hitze, die zusätzlich den Verschleiß verstärkt.

In den Haushaltsmotoren sind die Schleifkontakte aus Kohle, die sich abnutzt. Bei großen Motoren werden sie ausgewechselt, Haushaltsgeräte werden bei abgenutzten Kohlestiften weggeworfen.

Beim Synchronmotor besteht der Rotor aus einem Dauermagneten und es gibt ein rotierendes Magnetfeld im Stator. Der Strom muss dann nicht in den beweglichen Teil des Motors gespeist werden.



Welchen Vorteil gegenüber dem Stromwendermotor lässt sich bereits am Modell des Synchronmotors erkennen?

---

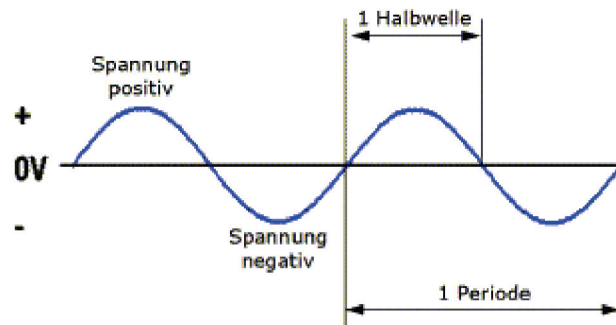
---

---

---




#### Aufgabe 4: Simulation des Magnetfeldes eines Synchronmotors

An unserer Steckdose liegt Wechselspannung an. Hier wechselt das Vorzeichen mit einer bestimmten Frequenz (Einheit Hertz:  $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$ ). Ein Hertz entspricht einer Wiederholung (Periode) pro Sekunde.

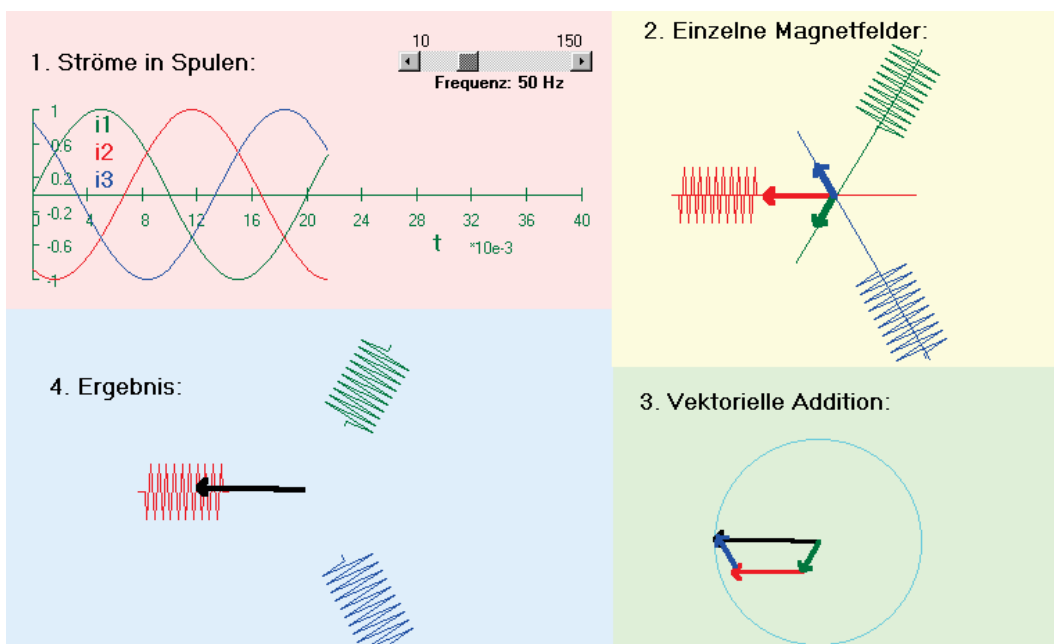


Im deutschen Stromnetz wird Wechselspannung mit 50 Hz eingespeist. Das bedeutet 100 Wechsel des Vorzeichens pro Sekunde. Bei einer Starkstromsteckdose hat man das dreimal, wobei die drei Wechselspannungen gegeneinander verschoben sind.

Legt man diese drei Spannungen auf drei Spulen, erzeugt jede ein anderes Magnetfeld. Das Ergebnis wird in der Simulation drehstrommotor.prj (im Programm PAKMA) betrachtet.

Starte die Simulation, indem du zuerst auf den Button „ Simulation laden“ drückst und dann auf den „ Play“-Button rechts daneben. Um die Simulation anzuhalten, drücke auf den „ Stop“-Button oder den Pausen-Button.

An dem Regler links oben können verschiedene Frequenzen gewählt werden. Im ersten Teilbild sieht man die drei Ströme, die in den drei farblich zugeordneten Spulen fließen. Verändere die Frequenz und beobachte das Ergebnis.



Rechts im gelben Teilbild 2 der Simulation sieht man, welche Magnetfelder die einzelnen, farblich zugeordneten Spulen an einer Stelle, dem Mittelpunkt zwischen den drei Spulen, erzeugen.



Wie verändert sich das Magnetfeld einer Spule?

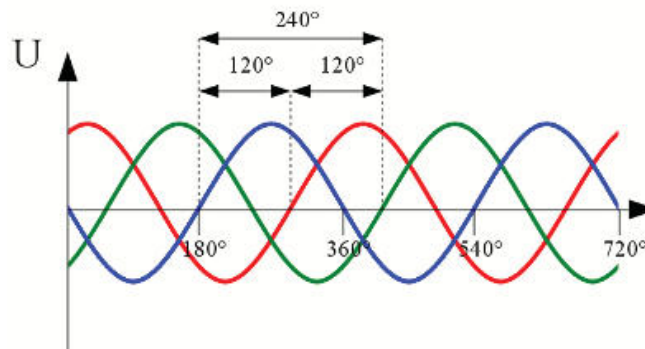
Magnetfelder haben nicht nur eine Stärke, sondern auch eine Richtung. Die Länge des Pfeils gibt die Stärke des Magnetfeldes wieder, während die Spitze des Pfeils in die Richtung des Magnetfeldes zeigt. Wirken mehrere Magnetfelder gleichzeitig, können die Pfeile mit ihrer Länge und Richtung aneinander gehängt werden, um die Magnetfelder zu addieren. Die direkte Verbindung vom Anfang des ersten bis zur Spitze des letzten Pfeils ergibt das resultierende Gesamtmagnetfeld mit seiner Stärke und Richtung. Im grünen Teilbild 3 der Simulation werden die drei Magnetfelder addiert. Im blauen Teilbild 4 der Simulation sieht man das Ergebnis: das Gesamtmagnetfeld an der einen Stelle in der Mitte.



Wie sieht das Gesamtmagnetfeld aus?

### Aufgabe 5: Drehfeld durch Dreiphasenwechselstrom

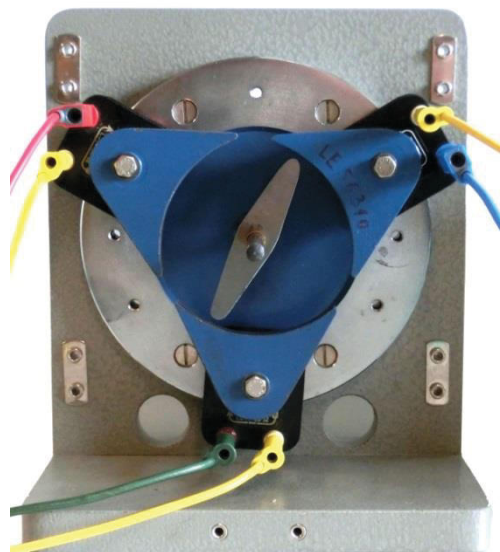
Der Strom für die drei Spulen kann auch mittels Elektronik erzeugt werden. Für das nächste Modell wird ein Gerät verwendet, mit dem auch drei Spannungen nach gewünschten Vorgaben erzeugt werden können. Das Gerät liefert drei um  $120^\circ$  phasenverschobene Ströme. Zudem ermöglicht es, die Frequenz und die Spannung zu regeln.



Werden diese phasenverschobenen Ströme an drei Spulen mit Eisenkernen angelegt und diese im Winkel von  $120^\circ$  um einen Rotor gestellt, wirkt auf diesen insgesamt ein rotierendes Magnetfeld.



An dem großen Regler in der Mitte lässt sich die Frequenz stufenlos von 0-500 Hz einstellen. An dem Regler links oben lässt sich ein Faktor für die Frequenz einstellen. Stellen wir zum Beispiel den Faktor 0,01 ein und drehen die Frequenz auf 200 Hz, ergibt sich eine Frequenz von 2 Hz. An dem Regler rechts oben lässt sich die Spannung einstellen. L1 (rot), L2 (blau) und L3 (grün) sind die drei einzelnen Spannungen, die du auf die orange Anschluss der Spulen legst. N (gelb) ist der Nullleiter, die Erde. Er wird mit allen weißen Anschlüssen der Spule verbunden.



In der oben gezeigten Schaltung wird an jede Spule eine Spannung angeschlossen. Als Rotor wird eine große Kompassnadel verwendet.

Stelle eine Spannung von 3 V ein und erhöhe die Frequenzen langsam von 0 Hz bis 20 Hz (zuerst **Faktor 0,01**: das bedeutet  $0,01 \cdot 0-500$  Hz ergibt 0-5 Hz; dann **Faktor 1**: das bedeutet entsprechend  $1 \cdot 0-500$  Hz ergibt 0-500 Hz). Falls die Kompassnadel einmal hängen bleibt, bitte per Hand anwerfen.



Welchen Einfluss hat die Frequenz der Spannungen auf die Bewegung des Rotors? Wie kann man das bei Elektroautos nutzen?

---



---

Dreht man die Frequenz zu hoch, kann der Rotor dem schnellen Feld nicht mehr synchron folgen.

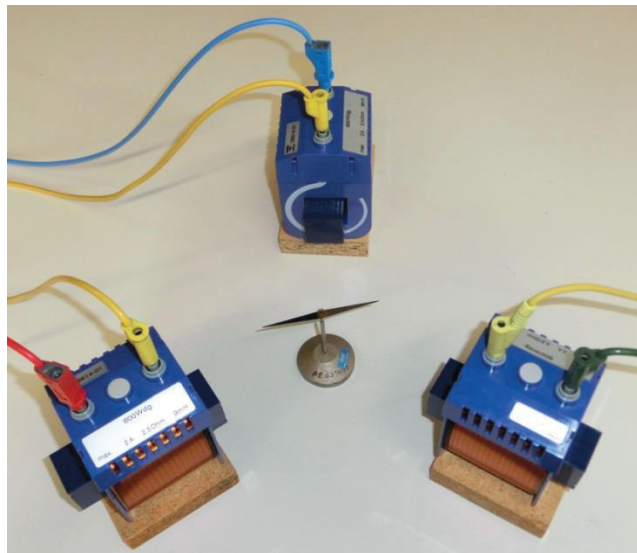


Ermittle, bis zu welcher Frequenz der Motor funktioniert.

Der Motor funktioniert bis zu einer Frequenz von \_\_\_\_\_ Hz.

### Aufgabe 6: Modell mit frei beweglichen Spulen

Ein Modell eines Synchronmotors kann auch mit Spulen und Eisenkernen sowie einer Kompassnadel als Rotor auf dem Tisch nachgebaut werden. Dazu musst du die drei Spulen per Augenmaß in einem 120°-Winkel um die Kompassnadel aufstellen. Der Abstand darf nicht zu gering sein, da die Kompassnadel sonst umgeworfen wird. Er darf aber auch nicht zu groß sein, da die magnetische Wirkung mit der Entfernung stark abnimmt. Bei jeder Spule schaltest du die Innenseite auf N und die Außenseite auf einen Anschluss L1, L2 und L3.



Suche eine Frequenz, bei der sich der Rotor gleichmäßig dreht.



Was passiert, wenn du nun zwei L-Anschlüsse vertauschst? Wie kann man das beim Elektroauto nutzen?

---



---



---

**Aufgabe 7: Ein Zeitungsartikel:**

# Elektromotoren für Elektroautos

## Synchronmotoren sind keine Stromwendermotore

Viele Autohersteller investieren erheblichen Entwicklungsaufwand in Elektroautos. Verwendet werden dabei eigens entwickelte Elektromotoren, die sich deutlich von den Elektromotoren unterscheiden, die man aus dem Haushalt oder dem Schulunterricht kennt.

Elektromotoren verursachen im laufenden Betrieb keine schädlichen Abgase. Sie sind also völlig sauber. Eine gänzliche CO<sub>2</sub>-Neutralität ohne jede Belastung kann aber nur erreicht werden, wenn sowohl die Herstellung der Fahrzeuge, als auch die Stromproduktion ebenfalls vollständig emissionsfrei erfolgt.

Elektroauto bezeichnet ein durch elektrische Energie angetriebenes Automobil. In den letzten Jahren erfährt das Elektroauto wieder gesteigerte Aufmerksamkeit. Zumeist wird die Antriebsenergie in Akkus, also aufladbaren Batterien, im Fahrzeug mitgeführt.

### Vor- und Nachteile

Der Elektroantrieb ist dem weit verbreiteten Antrieb mit Benzinmotoren in vielen Eigenschaften überlegen. Dazu zählen beispielsweise der viel höhere Wirkungsgrad, was einen geringeren Energiebedarf bedeutet. Außerdem gibt es einen einfacheren Aufbau. Während man beim Benzinmotor einen großen Motor

hat, dessen Bewegung über Kurbelstangen an die Räder übertragen werden muss, kann man Elektromotore direkt an das Rad bauen.

Zu nennen ist weiterhin die fast vollständige lokale Emissionsfreiheit in Bezug auf Schadstoffe und Lärm. D.h. sie sind so leise, dass sie kaum zu hören sind, während der Lärm von Benzinmotoren heute ein großes Problem darstellt.

Außerdem sind Elektromotoren klein und leicht und haben eine große Leistung. Wer einmal beim Anfahren eines Elektroautos das Gefühl hatte, stark in den Sitz gedrückt zu werden, weiß, was sie können.

Im Vergleich zu Fahrzeugen mit Benzinmotoren verfügen aktuell ausgeführte Elektrofahrzeuge jedoch zumeist über erheblich geringere Reichweiten. Dies ist in erster Linie auf die geringeren Energiemengen zurückzuführen, die beim derzeitigen Stand der Technik in Energiespeichern mitgeführt werden können. Man bräuhete für Autos mit großer Reichweite riesige Akkus.

### Welcher Elektromotor?

Elektromotoren kennen wir aus unserem Alltag. Sie befinden sich im Föhn, in Küchengeräten, in Werkzeugen und Spielzeugen. Aber stoppt! Das sind völlig andere Motoren als sie in Elektroautos

verwendet werden. Im Haushalt werden sogenannte Stromwendermotoren genutzt. Das sind die, die man auch in der Schule im Physikunterricht behandelt hat und die damals keiner verstand. Ihr Vorteil ist, dass sie mit Gleichstrom oder Wechselstrom laufen können. Ihr Nachteil ist, dass die Kohlebürsten, über die der Strom zugeführt wird, schnell verschleifen.

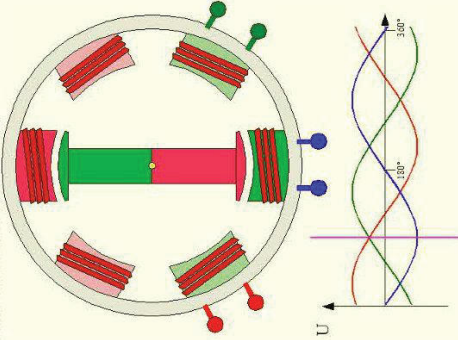
### Synchronmotoren

Ein Stromwendermotor wird aber niemals in Elektroautos verwendet. In diesen Fahrzeugen werden von Toyota über Honda bis hin zu BMW und Mercedes von nahezu allen Herstellern Drehstrom-Synchronmotore verwendet.

Die sind viel einfacher zu verstellen: Auf geschickte Weise wird über Spulen ein Magnetfeld erzeugt, das sich dreht. Im Inneren des Motors befindet sich ein Dauermagnet, der von diesem Magnetfeld angezogen wird und ihm in gleicher Geschwindigkeit folgt (siehe Prinzipskizze). Die Drehgeschwindigkeit des Motors lässt sich damit leicht über das Magnetfeld steuern. Da der Dauermagnet im Inneren keine Schleifkontakte hat, gibt es auch keinen Verschleiß und der Motor ist wartungsfrei.

Die technische Kunst liegt darin, dieses rotierende Magnetfeld zu

erzeugen. Aus der Gleichspannung des Akkus müssen nämlich dazu mit effizienter Elektronik drei Wechselspannungen erzeugt werden, die gegeneinander zeitlich verschoben sind.



### Kritik

Natürlich gibt es auch Kritik an diesen Motoren. Neodym, das als Dauermagnet in den Motoren verwendet wird, wird zu den seltenen Erden gezählt. Es wird u.a. zum Färben und in vielen starken Magneten verwendet, z.B. für Kernspintomographen, Festplatten, Lautsprecher, Generatoren und Motoren. Auch dieser Rohstoff steht nur begrenzt zur Verfügung, wird z.T. umweltschädlich abgebaut und wir machen uns damit von China als größten Lieferanten abhängig.





Fragen zum Zeitungsartikel:

1. Welche Vorteile hat ein Elektroantrieb gegenüber einem Benzinmotor?

---

---

---

---

---

---

---

2. Welche Nachteile hat ein Elektroantrieb gegenüber einem Benzinmotor?

---

3. Welche Vorteile hat ein Synchronmotor gegenüber einem Stromwendermotor?

---

---

4. Welche Nachteile hat ein Synchronmotor gegenüber einem Stromwendermotor?

---

---

5. Synchronmotoren in Elektroautos sind klein, leicht, leise und haben eine große Leistung. Was müsste man noch entwickeln, damit sich diese Technik durchsetzt?

---

---

---

## *Teil 3:*

# *Elektromobilität in der Chemie – Akkumulatoren*

Goethe-Universität Frankfurt am Main  
GoetheLab vom – Teilprojekt Elektromobilität

**Elektromobilität in der Chemie – Akkumulatoren**

Team:

Goethe-Universität Frankfurt am Main  
Fachbereich Biochemie, Chemie und Pharmazie | Institut für Didaktik der Chemie  
Campus Riedberg  
Max-von-Laue-Str. 7  
60438 Frankfurt am Main

Prof. Dr. Arnim Lühken | Dr. Edith Nitsche | Maren Rodriguez

Kontakt:

>> <https://www.uni-frankfurt.de/50807989/Arnim-Luehken>

>> <http://www.uni-frankfurt.de/50808182/EdithN>

>><https://www.uni-frankfurt.de/58361456/MarenR>

Frankfurt am Main, Januar 2017

## Die Notwendigkeit der Energiespeicher für die Elektromobilität

Um eine alltagstaugliche Nutzung der Elektromobilität zu ermöglichen, ist die Speicherung großer Mengen elektrischer Energie notwendig. Wie Sie im ersten Teil der Veranstaltung gesehen haben ist die Reichweite eines Elektrofahrzeugs ein entscheidender Faktor, wenn es um seine Akzeptanz geht. Die Möglichkeit der Speicherung, des Entladens und des Wiederaufladens großer Energiemengen ist also entscheidend, da die Reichweite der Elektroautos hierdurch limitiert wird. Folglich bieten sich keine Batterien (Primärzellen) an, die nur einmal entladbar sind, sondern man benötigt wieder aufladbare Akkus bzw. Akkumulatoren (Sekundärzellen). Akkus sind heutzutage in vielen Elektrogeräten im Alltag (Laptops, Handys usw.) weit verbreitet und werden von jedem genutzt. Die Anforderungen an die Akkus steigen stetig, daher wird sehr intensiv an ihnen geforscht. Sie sollen möglichst viel Energie speichern können, aber trotzdem klein und leicht sein. Dieses Verhältnis von Masse und Größe zu Leistung wird „Energiedichte“ genannt. Die Energiedichte entscheidet, neben der Zyklenstabilität, den praktischen Aspekten und der Gefahrenbeurteilung, darüber, ob ein Akku tauglich ist und im Großmaßstab hergestellt wird oder nicht. So haben sich im Laufe der Zeit Lithium-Ionen-Akkus ( $\text{Li}^+$ -Akkus) mit ihrer geringen Masse und der vergleichbar hohen Energiedichte weltweit als leistungsfähigster, wiederaufladbarer Akkutyp mit einer Zyklenstabilität von über 1000 Lade-/Entladezyklen durchgesetzt. Zudem bergen sie im Vergleich zu ihren Vorgängern (Lithium-Akkus, die elementares Lithium beinhalten) weniger Gefahren.

Da Lithium jedoch ein verhältnismäßig seltenes Metall ist (Abb. 1), ist wird stets nach Alternativen gesucht, die kostengünstiger sind aber Ähnliches leisten können. Auch im Zusammenhang mit Elektromobilität ist dies ein großes Thema. Auf den folgenden Seiten finden Sie daher Modellversuche zu der Funktionsweise eines Lithium-Ionen-Akkus. Zudem wagen wir einen Blick in die Vergangenheit, betrachten einen Akku, der Hydrogensulfat-Ionen nutzt und beschäftigen uns mit einer aktuellen Alternative: Dem Natrium-Ionen-Akku.

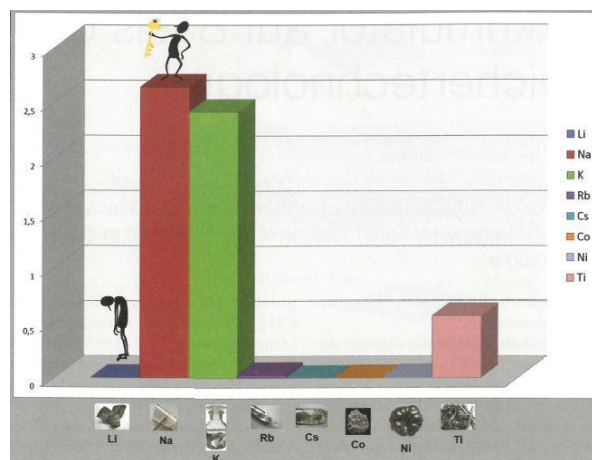


Abb. 1: Häufigkeit eines Elements in der Erdkruste, das für Akkus relevant sein könnte (in %) <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> M. Oetken; M. Klaus (2016) Natrium-Ionen-Akkumulatoren auf Basis der „Dual-Ionen“-Speichertechnologie; PdN 65 (1); S. 31–36.

## Lithium-Ionen-Akkus

### Theorie

Lithium-Ionen-Akkus sind heutzutage aus einer graphitischen Anode und einem Übergangsmetalloxid (= Oxid eines Nebengruppenmetalls) als Kathode aufgebaut. Beide erlauben sowohl die Einlagerung/die Interkalation als auch die Auslagerung/die Deinterkalation der  $\text{Li}^+$ -Ionen. Der organische Elektrolyt enthält ein leitendes Lithium-Salz, sodass für jedes Elektron, das während des Ladevorgangs in die Anode „gepumpt“ wird, ein  $\text{Li}^+$ -Ion für den Ladungsausgleich in die parallel verlaufenden, hexagonal-planaren Schichtgitter des Graphits eingelagert/interkaliert wird (Abb. 2, 3).

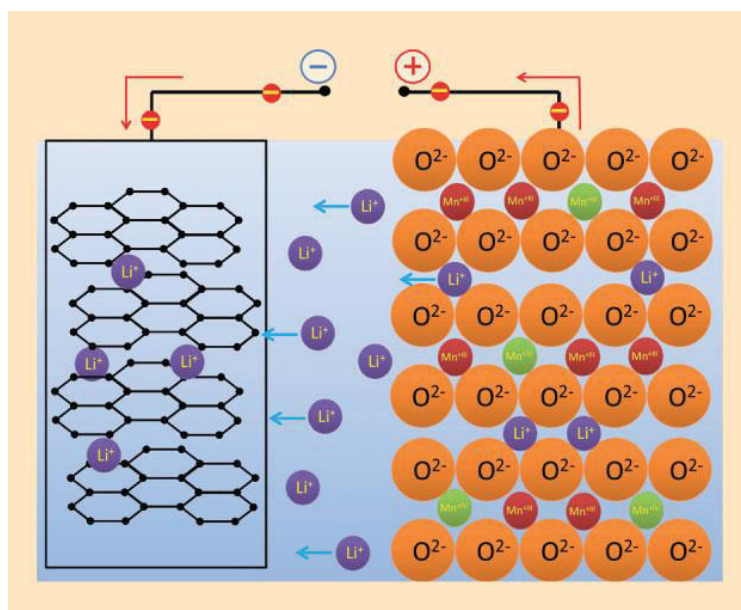


Abb. 2: Vorgänge während des Ladens eines üblichen  $\text{Li}^+$ -Akkus <sup>2</sup>.

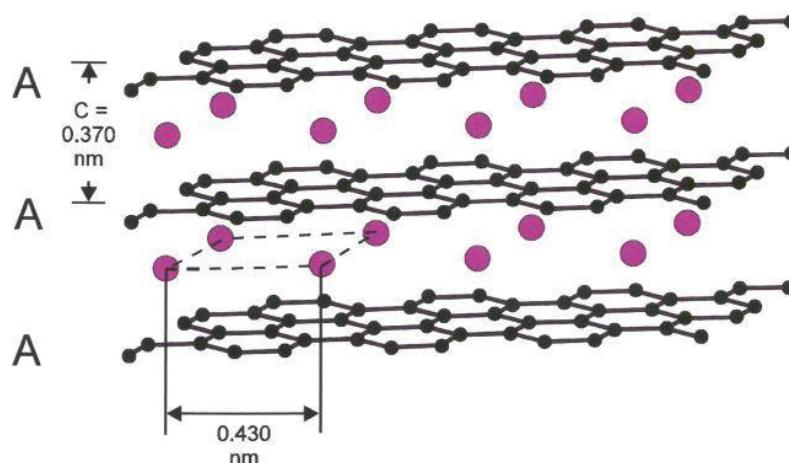


Abb. 3: Graphitgitter mit eingelagerten  $\text{Li}^+$ -Ionen <sup>3</sup>.

<sup>2</sup> M. Hasselmann; M. Oetken (2014) Speichersysteme – Versuche zu Lithium-Ionen-Akkus ; *ChiuZ* 48(2); S. 102–113

<sup>3</sup> M. Hasselmann; D. Quarthal & M. Oetken (2015) Der Dual-Carbon-Akkumulator als stationärer Energiespeicher – Einblicke in eine faszinierende Interkalationschemie des Graphits, *PdN* 64(8); S. 22–29.

Diese Interkalation geschieht unter Energieaufwand, da die Graphitschichten über Van-der-Waals-Wechselwirkungen zusammengehalten werden und diese aufgebrochen werden müssen. Hieraus resultieren die Graphiteinlagerungsverbindungen (GIC) des Lithiums  $\text{LiC}_{18}$ ,  $\text{LiC}_{12}$  und die elektrochemisch maximal erreichbare GIC  $\text{LiC}_6$  (Abb. 4).

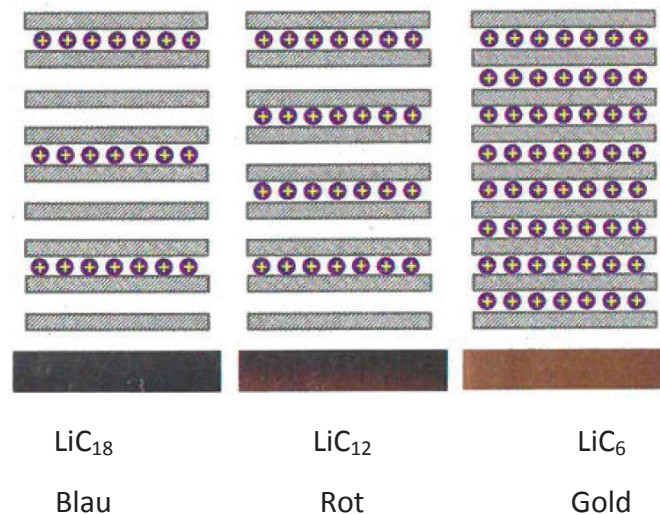


Abb. 4: Schematische Darstellung der stufenförmigen Interkalation der  $\text{Li}^+$ -Ionen. Das blaue  $\text{LiC}_{18}$  stellt die niedrigste  $\text{Li}^+$ -GIC dar, hierbei sind die Interkalationsschichten von drei Graphitschichten getrennt. Bei dem roten  $\text{LiC}_{12}$  hingegen sind sie von zwei Graphitschichten getrennt und bei dem goldenen  $\text{LiC}_6$  sind zwischen allen Graphitschichten  $\text{Li}^+$ -Ionen interkaliert.<sup>3</sup>

Beim Entladen wird mit jedem austretenden Elektron ein  $\text{Li}^+$ -Ion, welches in dem Graphit interkaliert ist, ausgelagert und wandert anschließend in die Kathode, die aus Mischmetalloxiden wie  $\text{LiMnO}_2$  oder  $\text{LiCoO}_2$  besteht. Hierbei wird das Übergangsmetall reduziert (z.B. Mn (+IV) zu Mn (+III)) (Abb. 5).

<sup>3</sup> M. Hasselmann; D. Quarthal & M. Oetken (2015) Der Dual-Carbon-Akkumulator als stationärer Energiespeicher – Einblicke in eine faszinierende Interkalationschemie des Graphits, PdN 64(8); S. 22–29.

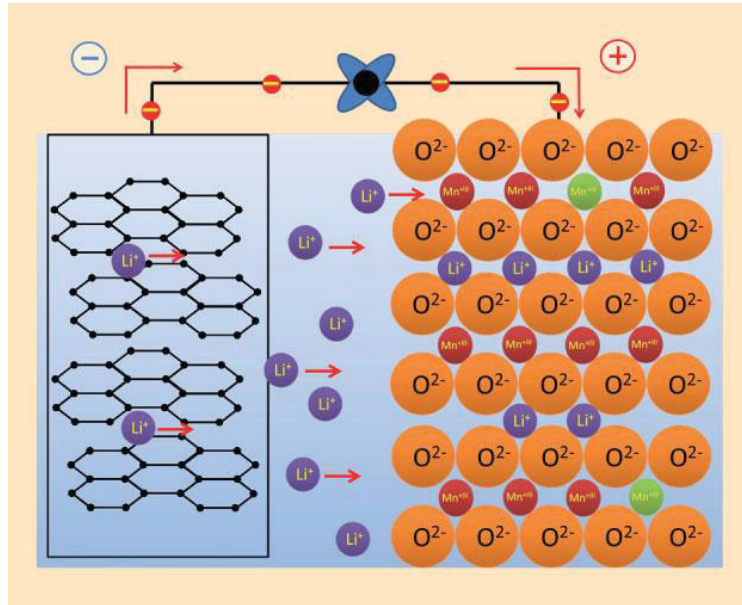


Abb. 5: Vorgänge während des Entladens eines üblichen Li<sup>+</sup>-Akkus <sup>2</sup>.

Bei den nächsten Ladezyklen wird für jedes Elektron ein Li<sup>+</sup>-Ion aus dem Mischmetalloxid ausgelagert/deinterkaliert und lagert sich, für das Beibehalten der elektrischen Neutralität, erneut in die Graphit-Elektrode ein. An der Kathode wird für jedes austretende Li<sup>+</sup>-Ion ein Übergangsmetall oxidiert (Mn(+III) zu Mn(+IV)), damit auch hier die elektrische Ladung ausgeglichen wird (Abb. 6).

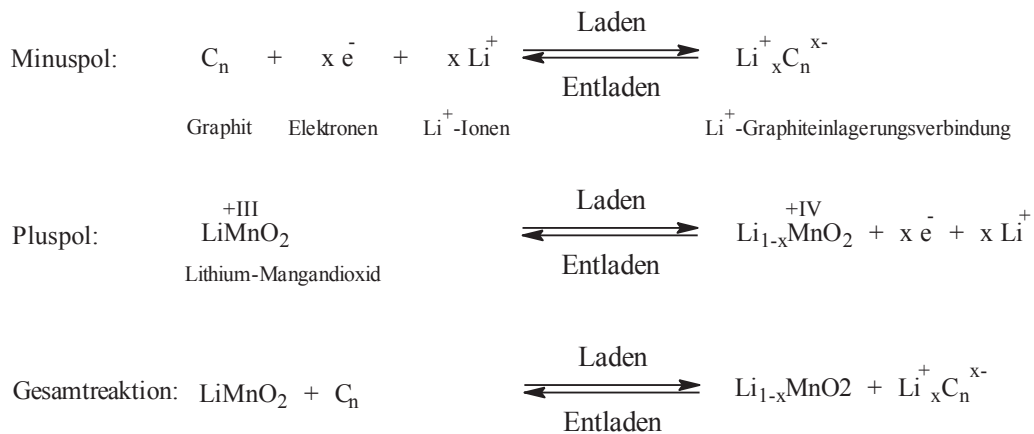


Abb. 6: Zusammenfassung der an der Anode bzw. Kathode ablaufenden Reaktionen während des Lade- und Entladevorgangs <sup>3</sup>.

<sup>2</sup> M. Hasselmann; M. Oetken (2014) Speichersysteme – Versuche zu Lithium-Ionen-Akkus ; *ChiuZ* 48(2); S. 102–113

<sup>3</sup> M. Hasselmann; D. Quarthal & M. Oetken (2015) Der Dual-Carbon-Akkumulator als stationärer Energiespeicher – Einblicke in eine faszinierende Interkalationschemie des Graphits, *PdN* 64(8); S. 22–29.

Folglich ist eine reversible Reaktion gegeben, was bedeutet, dass die Vorgänge theoretisch beliebig oft wiederholt werden können - die Grundlage für einen Akkumulator.

Es ist zudem möglich Lithium-Ionen-Akkus mit zwei gleichen Elektroden zu bauen, vorausgesetzt es handelt sich um ein Material wie Graphit, das sowohl reduziert als auch oxidiert werden kann (= redoxamphoter).

Bei diesen sogenannten Dual-Carbon-Zellen interkalieren während des Ladevorgangs  $\text{Li}^+$ -Ionen in die Anode, während das Anion des  $\text{Li}^+$ -Salzes, z.B. bei Einsatz von Lithiumperchlorat das Perchlorat-Ion ( $\text{ClO}_4^-$ ), in die Kathode eingelagert wird. Die Reaktion an der Anode ist die gleiche wie auch bei den Lithium-Akkus mit einem Mischmetalloxid als Kathode (s. S. 57). An der Kathode hingegen gibt es nun keine eingelagerten  $\text{Li}^+$ -Ionen, die ausgelagert werden können. Stattdessen werden für den Ladungsausgleich Perchlorat-Anionen eingelagert (Abb. 7).

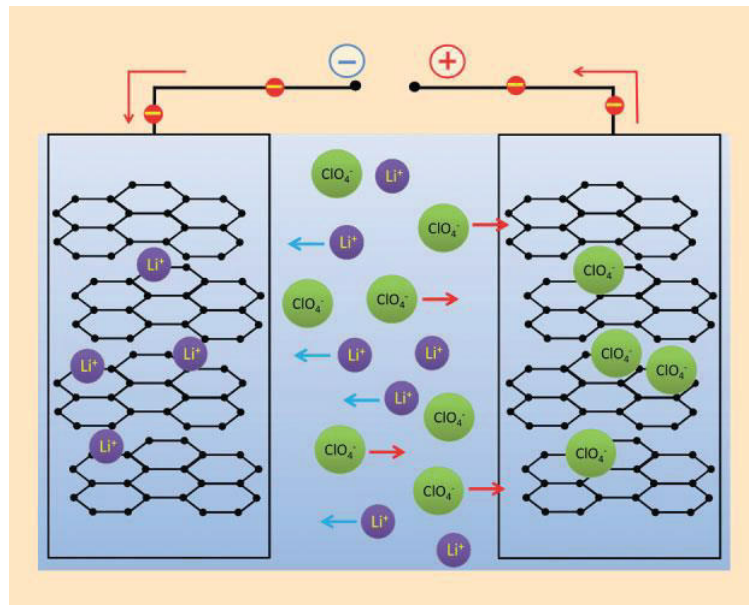


Abb. 7: Vorgänge beim Laden der Dual-Carbon-Zelle <sup>2</sup>.

Beim Entladen werden für den Erhalt der elektrischen Ladung sowohl  $\text{Li}^+$ - als auch  $\text{ClO}_4^-$ -Ionen freigesetzt (Abb. 8), da an der Kathode keine Übergangsmetalle vorhanden sind, die oxidiert werden können.

<sup>2</sup> M. Hasselmann; M. Oetken (2014) Speichersysteme – Versuche zu Lithium-Ionen-Akkus ; *ChiuZ* 48(2); S. 102–113



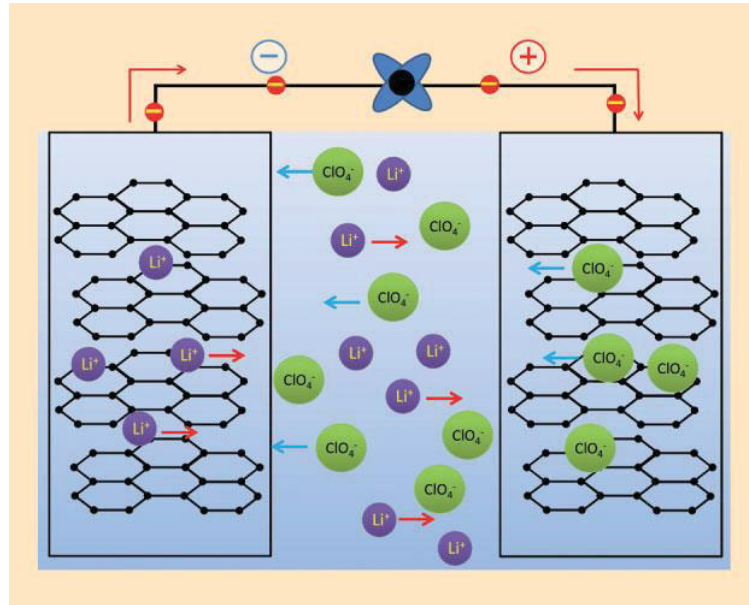


Abb. 8: Vorgänge beim Entladen der Dual-Carbon-Zelle <sup>2</sup>.

Im Allgemeinen werden für  $\text{Li}^+$ -Akkus trotz der guten Leitfähigkeit von Wasser nichtwässrige, polare, aprotische (= kein Wasserstoffatom als Proton abspaltbar) Lösemittel wie Propylen-, Ethylen- und Dimethylcarbonat genutzt, da Lithium mit Wasser zu heftigen Reaktionen führt und Wasser bei Ladenspannungen über 3 V elektrolysiert und somit gefährliches Knallgas (1:2 Gemisch aus  $\text{O}_2$  und  $\text{H}_2$ ) entsteht.

Ein weiterer Vorteil von Lösemitteln wie Ethylencarbonat ist die Ausbildung einer elektronisch isolierenden Schutzschicht, die sogenannte Solid Electrolyte Interphase (SEI)-Schicht, während der ersten Ladezyklen. Diese wird durch Zersetzungsprodukte des Elektrolyten gebildet, die eine weitere Zersetzung der Elektroden und des Elektrolyten verhindert. Sie ist nur für unsolvatisierte  $\text{Li}^+$ -Ionen durchlässig („Sieb“ für unsolvatisierte  $\text{Li}^+$ ), sodass eine Aufweitung und damit Beschädigung der Elektrode (Exfoliation) verhindert wird (Abb. 9).

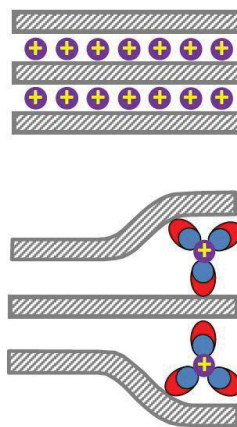


Abb. 9: Exfoliation der Graphit-Elektrode durch die Einlagerung von unsolvatisierten Ionen (oben) im Vergleich zu solvatisierten Ionen (unten) <sup>2</sup>.

<sup>2</sup> M. Hasselmann; M. Oetken (2014) Speichersysteme – Versuche zu Lithium-Ionen-Akkus ; *ChiuZ* 48(2); S. 102–113

## Versuch 1: Stufenförmige Interkalation von $\text{Li}^+$ -Ionen in Graphit

Lithium-Ionen-Akkus sind heutzutage aus einer graphitischen Anode und einem Übergangsmetalloxid (= Oxid eines Nebengruppenmetalls) als Kathode aufgebaut. Beide erlauben sowohl die Einlagerung/die Interkalation als auch die Auslagerung/die Deinterkalation der  $\text{Li}^+$ -Ionen. Der organische Elektrolyt enthält ein leitendes Lithium-Salz, sodass für jedes Elektron, das während des Ladevorgangs in die Anode „gepumpt“ wird, ein  $\text{Li}^+$ -Ion für den Ladungsausgleich in die parallel verlaufenden, hexagonal-planaren Schichtgitter des Graphits eingelagert/interkaliert wird (Abb. 10, 11).

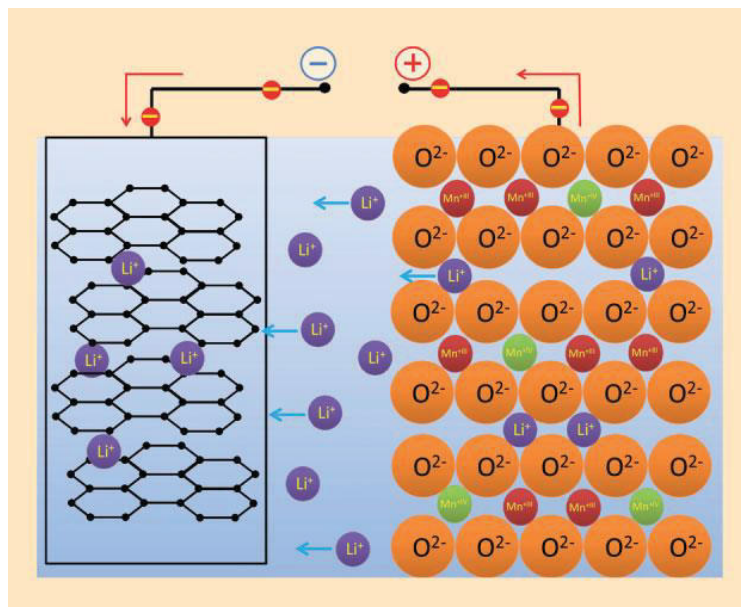


Abb. 10: Vorgänge während des Ladens eines üblichen  $\text{Li}^+$ -Akkus <sup>2</sup>.

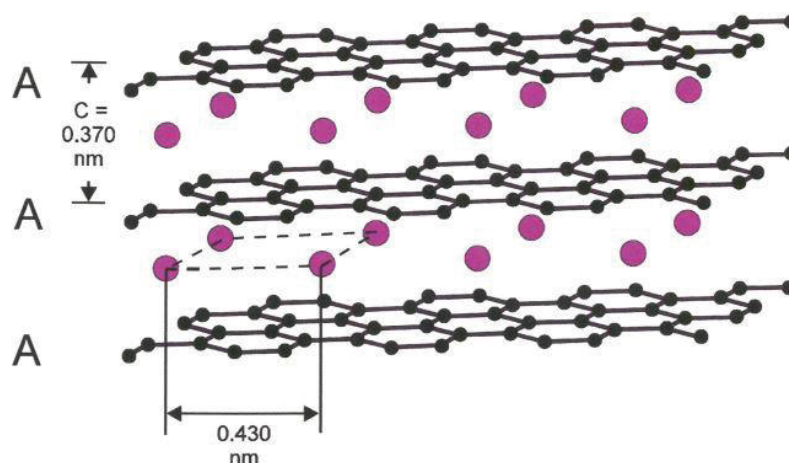


Abb. 11: Graphitgitter mit eingelagerten  $\text{Li}^+$ -Ionen <sup>3</sup>.

<sup>2</sup> M. Hasselmann; M. Oetken (2014) Speichersysteme – Versuche zu Lithium-Ionen-Akkus ; *ChiuZ* 48(2); S. 102–113

<sup>3</sup> M. Hasselmann; D. Quarthal & M. Oetken (2015) Der Dual-Carbon-Akkumulator als stationärer Energiespeicher – Einblicke in eine faszinierende Interkalationschemie des Graphits, *PdN* 64(8); S. 22–29.

Diese Interkalation geschieht unter Energieaufwand, da die Graphitschichten über Van-der-Waals-Wechselwirkungen zusammengehalten werden und diese aufgebrochen werden müssen. Hieraus resultieren die Graphiteinlagerungsverbindungen (GIC) des Lithiums  $\text{LiC}_{18}$ ,  $\text{LiC}_{12}$  und die elektrochemisch maximal erreichbare GIC  $\text{LiC}_6$  (Abb. 12).

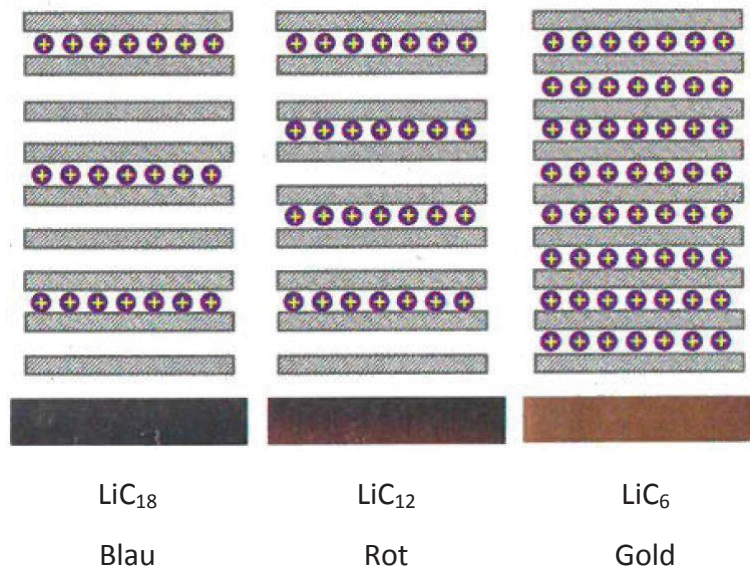


Abb. 12: Schematische Darstellung der stufenförmigen Interkalation der  $\text{Li}^+$ -Ionen<sup>3</sup>. Das blaue  $\text{LiC}_{18}$  stellt die niedrigste  $\text{Li}^+$ -GIC dar, hierbei sind die Interkalationsschichten von drei Graphitschichten getrennt. Bei dem roten  $\text{LiC}_{12}$  hingegen sind sie von zwei Graphitschichten getrennt und bei dem goldenen  $\text{LiC}_6$  sind zwischen allen Graphitschichten  $\text{Li}^+$ -Ionen interkaliert.

Beim Entladen wird mit jedem austretenden Elektron ein  $\text{Li}^+$ -Ion, welches in dem Graphit interkaliert ist, ausgelagert und wandert anschließend in die Kathode, die aus Mischmetalloxiden wie  $\text{LiMnO}_2$  oder  $\text{LiCoO}_2$  besteht. Hierbei wird das Übergangsmetall reduziert (z.B. Mn (+IV) zu Mn (+III)).

**Geräte:** Große tic tac®-Dose, Spannungsquelle, Voltmeter, Verbindungskabel, Krokodilklemmen, Elektromotor oder Lämpchen (Verbraucher), 1 L Becherglas, Thermometer, Magnetrührer mit Heizfunktion (2x), Rührfisch (2x), 150 mL Becherglas, 50 mL Standzylinder, Spatel, Lineal, Schere, wasserfester Stift

**Chemikalien:** Graphitmine (d = 3,15 mm), Graphitfolie, Dimethylcarbonat, Ethylencarbonat, Lithiumperchlorat

**Sicherheitsvorschriften:** Dimethylcarbonat () , Ethylencarbonat () , Lithiumperchlorat (  )

**Der Elektrolyt:** Lithiumperchlorat-Lösung (c = 1 mol/L) in Ethylencarbonat/Dimethylcarbonat (Verhältnis 1:1).

<sup>3</sup> M. Hasselmann; D. Quarthal & M. Oetken (2015) Der Dual-Carbon-Akkumulator als stationärer Energiespeicher – Einblicke in eine faszinierende Interkalationschemie des Graphits, PdN 64(8); S. 22–29.

**Vorbereitung der Graphitfolie:** Die Graphitfolie wird der Schablone (Abb. 13) entsprechend zugeschnitten.

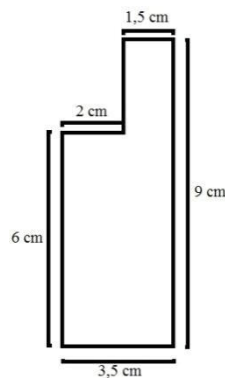


Abb. 13: Schablone der Graphitfolie.

### Durchführung:

- Messen Sie mit Hilfe eines Standzylinders 50 mL der vorbereiteten Elektrolyt-Lösung ab, die Sie dann in die tic tac<sup>®</sup>-Dose einfüllen. (Sollte bereits eine Gruppe vor Ihnen experimentiert haben, sollten Sie den bereits genutzten Elektrolyten eventuell einmal filtrieren)
- Befestigen Sie die Graphitmine mittels Krokodilklemme an einer Ecke der Dose und verbinden Sie diese als Pluspol mit der Spannungsquelle.
- Fixieren Sie die Graphitfolie an der gleichen tic tac<sup>®</sup>-Dosen-Wand mit einem Abstand von etwa 5 mm zur anderen Elektrode durch eine Krokodilklemme und verbinden Sie diese als Minuspol.
- Schließen Sie parallel zu diesem Stromkreis für die Spannungsmessung ein Voltmeter an (Abb. 14).

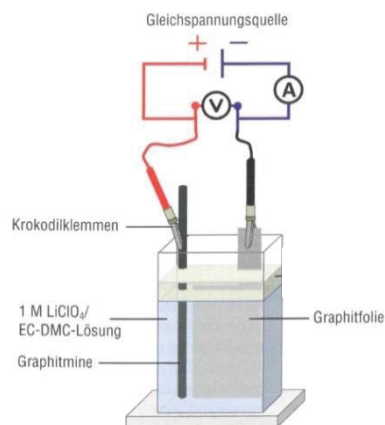


Abb. 14: Aufbau des Versuchs „Stufenförmige Interkalation von Li<sup>+</sup>-Ionen in Graphit“<sup>3</sup>.

- Schalten Sie das Spannungsgerät an und laden Sie den Akku für 15-20 Minuten bei 5,2 V (Gleichspannung).
- Beobachten Sie die Graphitfolie.

<sup>3</sup> M. Hasselmann; D. Quarthal & M. Oetken (2015) Der Dual-Carbon-Akkumulator als stationärer Energiespeicher – Einblicke in eine faszinierende Interkalationschemie des Graphits, PdN 64(8); S. 22–29.

- Entladen Sie den Akku anschließend.
- Schließen Sie hierzu einen Verbraucher (z.B. kleiner Propeller) an, indem Sie die Verbindungskabel, die mit dem Spannungsgerät verbunden sind, an diesen Verbraucher anschließen.
- Beobachten Sie die Graphitfolie.

Sie können den Versuch mehrere Male (Zyklen) mit dem gleichen Elektrolyten und den gleichen Elektroden durchführen.

**Entsorgung: !! Der Aufbau wird für die nächsten Gruppen beibehalten.** Die Graphitfolie wird nach einigen Lade-/Entladezyklen ähnlich wie die Graphitmine aufgeweitet und blättert, sodass diese gegebenenfalls filtriert oder ersetzt werden muss.

Die Elektrolyt-Lösung wird zur Entsorgung, wenn nötig, filtriert (kleine Graphitstücke) und in den organischen Abfällen entsorgt. Graphitmine und -folie werden nach dem Trocknen in der Feststofftonne entsorgt.



Beobachtung

---



---



---



---



Auswertung

---



---

Warum müssen Sie eine Spannung anschließen, damit die  $\text{Li}^+$ -Ionen in die Graphit-Elektrode interkalieren?

---

**Ablaufende Redoxreaktion im  $\text{Li}^+$ -Akku:**

Reduktion (Minuspol): \_\_\_\_\_

Oxidation (Pluspol): \_\_\_\_\_

Gesamtreaktion: \_\_\_\_\_

---

## Versuch 2: Nachweis der Interkalatoren

Um nachweisen zu können, dass es sich bei den Interkalatoren tatsächlich um  $\text{Li}^+$ -Ionen handelt, kann die für  $\text{Li}^+$ -Ionen charakteristische Flammenfärbung genutzt werden.

### Versuch 2a: Flammenfärbung eines $\text{Li}^+$ -Salzes

Dieser Versuch dient der Wiederholung der Flammenfärbung des Lithiums.

**Geräte:** Bunsenbrenner, Magnesiastäbchen, kleines Uhrglas, Pipette, Mikrospatel, Feuerzeug

**Chemikalien:** verd. Salzsäure, Lithiumchlorid

**Sicherheitsvorschriften:** Salzsäure (, , Lithiumchlorid ()

#### Durchführung:

- Geben Sie auf ein kleines Uhrglas eine kleine Spatelspitze Lithiumchlorid und mit einer Pipette einige Tropfen Salzsäure.
- Glühen Sie das Magnesiastäbchen in der rauschenden (= nicht leuchtenden) Flamme aus.
- Halten Sie das Uhrglas knapp unter die Öffnung des Lufteinzugs und tauchen Sie das glühende Magnesiastäbchen in die vorbereitete Lösung (Abb. 15).

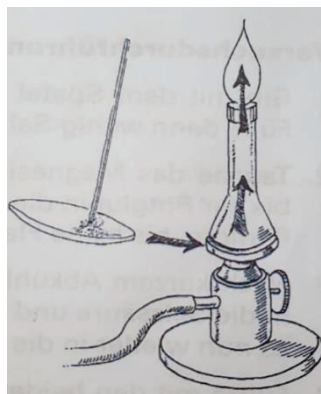


Abb. 15: Aufbau des Versuchs Flammenfärbung eines  $\text{Li}^+$ -Salzes<sup>4</sup>.

**Entsorgung:** Die Salzsäure wird neutralisiert und in den Abfluss gegeben. Von dem abgenutzten Magnesiastäbchen wird z.B. mit Hilfe eines Spatels die Spitze abgebrochen (möglichst kleines Stück).



Beobachtung

Farbe der Flamme: \_\_\_\_\_

<sup>4</sup> E. Nitsche, Goethe Universität, Frankfurt am Main.

## Versuch 2b: Nachweis der Li<sup>+</sup>-Interkalatoren

**Geräte:** Kleine tic tac<sup>®</sup>-Dose, Spannungsquelle, Voltmeter, Verbindungskabel, Krokodilklemmen, Magnetrührer, Rührfisch, 50 mL Becherglas (2x), 50 mL Standzylinder, Spatel, Tiegelzange, Pinzette

**Chemikalien:** Graphitminen (d = 0,5 mm) (2x), Propylencarbonat, Lithiumperchlorat

**Sicherheitsvorschriften:** Propylencarbonat (⚠), Lithiumperchlorat (⚠ ⚠)

**Der Elektrolyt:** Lithiumperchlorat-Lösung (c = 1 mol/L) in Propylencarbonat

### Durchführung:

- Befüllen Sie die Dose etwa 1 cm hoch mit der Elektrolyt-Lösung und verschließen Sie den Deckel.
- Verbinden Sie die Graphitminen vorsichtig mit den Krokodilklemmen und legen Sie diese in die Löcher des Deckels. !! Da die Graphitminen sehr dünn und leicht zerbrechlich sind, ist hier Vorsicht geboten. !! (Tipp: etwas ältere Klemmen wählen und diese auf der Dose ablegen; Kabel auf Voltmeter ablegen) (Abb. 16)
- Verbinden Sie eine der Elektroden als Plus-, die andere als Minuspol (Im Verlauf des Versuchs ist es wichtig, welche Elektrode der Plus- und welche der Minuspol war)
- Schalten Sie zur Spannungsmessung ein Voltmeter parallel.

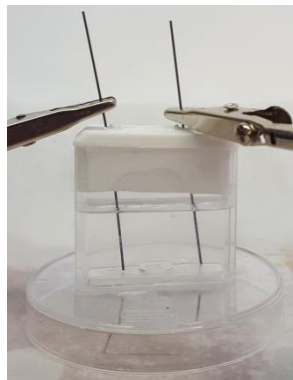


Abb. 16: Aufbau des Versuchs Nachweis der Li<sup>+</sup>-Interkalatoren-Ladevorgang.

- Schalten Sie das Spannungsgerät an und laden Sie für 4 Minuten bei einer Spannung von 4,2 V.
- Trocknen Sie die Elektroden kurz ab.
- Halten Sie die Elektroden nun mithilfe einer Tiegelzange in die rauschende Flamme des Bunsenbrenners.

**Entsorgung:** Die Graphitminen werden gesammelt und trocken in der Feststofftonne entsorgt. Die Lösung kann mehrfach genutzt werden, wird filtriert und dann im organischen Abfall entsorgt.



### Beobachtung

Farbe der Flamme am Minuspol: \_\_\_\_\_

Farbe der Flamme am Pluspol: \_\_\_\_\_



### Auswertung

Ist es möglich zu sagen, in welche Elektrode welche Teilchen inseriert sind?

---

---



---

### Versuch 3: Nachweis der $\text{ClO}_4^-$ -Interkalatoren

---

Die in den 1980ern verbreiteten Nickel-Cadmium- bzw. Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren mit wässrigen Elektrolyten besaßen keine ausreichende Energiedichte. Daher wurde die Forschung in dem Gebiet weitergeführt und schließlich konnten Lithiummetall-Primärbatterien mit einer Spannung von ca. 3 V pro Zelle entwickelt werden. Als Elektrolyt werden für diese Batterien organische Lösungen eingesetzt, da Wasser bei der hohen Ladespannung elektrolysiert und Knallgas (1:2 Gasgemisch aus  $\text{O}_2$  und  $\text{H}_2$ ) entsteht. Zudem wird eine metallische Lithium-Anode und ein Übergangsmetalloxid, wie z.B. Manganoxid, als Kathode genutzt.





Beim Entladen löst sich die metallische Lithium-Anode nach und nach auf, da die Lithiumatome zu  $\text{Li}^+$ -Ionen oxidiert werden und diese in Lösung gehen. Die  $\text{Li}^+$ -Ionen „wandern“ nun zur Kathode und werden interkaliert. Dabei wird das Übergangsmetall der Kathode reduziert, um den Ladungsausgleich wieder herzustellen.

Doch eignet sich diese Form keinesfalls als Akku. Beim Ladevorgang würde an der Anode elementares Lithium entstehen, welches in Form von Dendriten (Ästen) unter Umständen bis zur Kathode gelangen kann. Dies würde zu einem Kurzschluss führen. Das metallische Lithium würde durch die entstehende Hitze schmelzen und mit dem leichtentzündlichen Elektrolyten in Kontakt kommen, was eine Explosion verursachen würde.

Allerdings kann die Interkalation von Perchlorat-Ionen anhand eines Lithium-Metall-basierten Akkus sehr gut gezeigt werden. Am Minuspol wird Lithium abgeschieden, während  $\text{ClO}_4^-$ -Ionen am Pluspol (Graphit) interkalieren. Die maximal erreichbare  $\text{ClO}_4^-$ -Graphiteinlagerungsverbindung ist  $(\text{ClO}_4)\text{C}_{24}$  und farblich von Graphit zu unterscheiden.<sup>3</sup>

**Geräte:** Große tic tac®-Dose, Spannungsquelle, Voltmeter, Verbindungskabel, Krokodilklemmen, Magnetrührer, Rührfisch, 150 mL Becherglas (2x), 50 mL Standzylinder, Spatel, Lineal, Schere,

**Chemikalien:** Kupferblech, Graphitfolie, Dimethylcarbonat, Ethylencarbonat, Lithiumperchlorat, Isopropanol

**Sicherheitsvorschriften:** Dimethylcarbonat () , Ethylencarbonat () , Lithiumperchlorat (  )

**Der Elektrolyt:** Lithiumperchlorat-Lösung ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ) in Ethylencarbonat/Dimethylcarbonat (Verhältnis 1:1)

**Vorbereitung der Kupfer-Elektrode:** Schneiden Sie ein Rechteck der Größe 8 cm x 1,5 cm aus.

**Vorbereitung der Graphit-Elektrode:** S. Schablone der Graphitfolie zu Versuch 1: Stufenförmige Interkalation von  $\text{Li}^+$ -Ionen in Graphit (Abb. 13).

**Durchführung:**

- Messen Sie 40 mL der vorbereiteten Elektrolyt-Lösung mit Hilfe eines Standzylinders ab und füllen Sie diese in die tic tac®-Dose ein.

- Schließen Sie die Graphitfolie als Pluspol und das Kupferblech senkrecht dazu mit einem Abstand von 5 mm zur Graphitfolie als Minuspol an.
- Schließen Sie parallel zu diesem Stromkreis für die Spannungsmessung ein Voltmeter an (Abb. 17).
- Laden Sie den Akku für eine Minute bei 6,5 V.

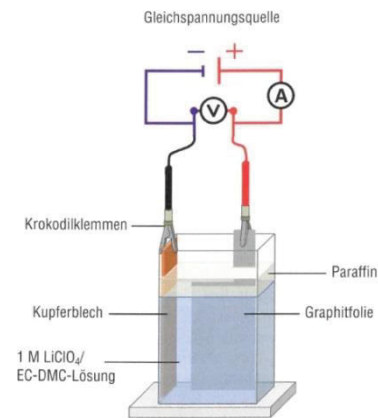


Abb. 17: Aufbau des Versuchs Nachweis der  $\text{ClO}_4^-$  Interkalatoren.<sup>3</sup>

**Entsorgung:** Die Elektrolyt-Lösung kann mehrfach genutzt werden (eventuell filtrieren) und wird dann in den organischen Abfällen entsorgt. Das Kupferblech wird in Isopropanol gegeben, damit das elementare Lithium abreagiert, und mit der Graphitfolie nach dem Trocknen in der Feststofftonne entsorgt.



Beobachtung

---



---



---



Auswertung

---



---

### Ablaufende Redoxreaktion im $\text{Li}^+$ -Akku:

Reduktion (Minuspol): \_\_\_\_\_

Oxidation (Pluspol): \_\_\_\_\_

Gesamtreaktion: \_\_\_\_\_

<sup>3</sup> M. Hasselmann; D. Quarthal & M. Oetken (2015) Der Dual-Carbon-Akkumulator als stationärer Energiespeicher – Einblicke in eine faszinierende Interkalationschemie des Graphits, PdN 64(8); S. 22–29

## HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>-Ionen-Akkus

### Theorie

Der Vorläufer der graphitischen Akkus wurde schon 1938 von Rüdorff und Hofmann mit den oxidationsstabilen Hydrogensulfat- (HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>)-Ionen als (de-)interkalierende Verbindung entdeckt. Die HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>-Ionen, die aus der Autoprotolyse der Schwefelsäure, die als Elektrolyt eingesetzt wird, hervorgehen, lagern sich in das Graphit unter Bildung eines mit LED-Beleuchtung sichtbaren türkisen Graphitsalzes ein bzw. aus.

Zunächst muss eine Graphit-Hydrogensulfat- sowie eine Graphit-Elektrode vorgelegt werden, sodass Lade- und Entladezyklen möglich sind. Beim Laden interkalieren die HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>-Ionen für den Ladungsausgleich aus dem Minuspol in den Pluspol, während Elektronen in den Minuspol eingelagert werden (Abb. 18).

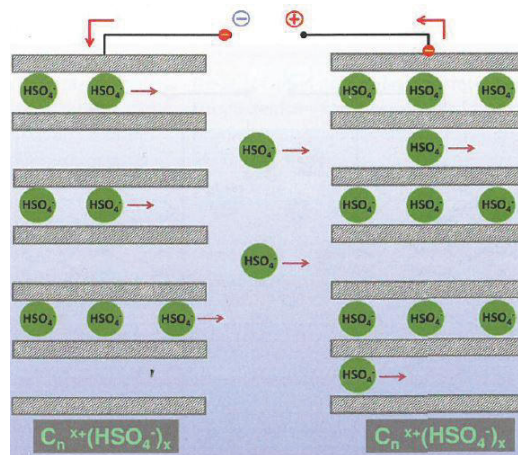


Abb. 18: Vorgänge während des Ladens des HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>-Akkus<sup>5</sup>.

Beim Entladen hingegen werden die HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>-Ionen aus der Graphitsalz-Elektrode ausgelagert und interkalieren in die Graphit-Elektrode, bis ein Gleichgewicht zwischen den beiden Elektroden erreicht ist (beide Elektroden besitzen gleich viele Interkalatoren) (Abb. 19).

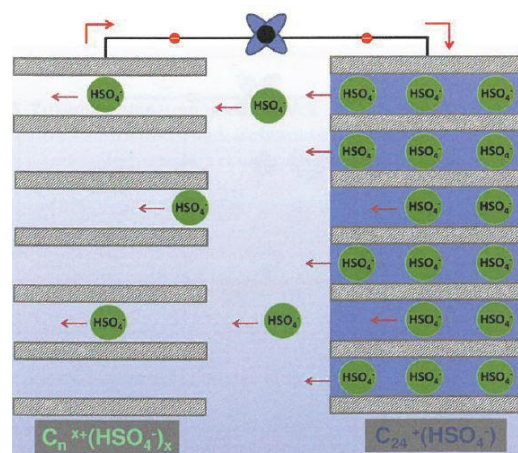


Abb. 19: Vorgänge während des Entladens des HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>-Akkus<sup>5</sup>.

Hierbei kommt es zur irreversiblen Exfoliation (Aufweitung) der beiden Elektroden, da die  $\text{HSO}_4^-$ -Ionen solvatisiert (je zwei Schwefelsäure-Moleküle) interkalieren. Außerdem haben diese Akkus eine geringe Energiedichte, weswegen sie nie großtechnisch produziert wurden. Dennoch weisen sie eine sehr ähnliche Funktionsweise zum  $\text{Li}^+$ -Ionen-Akku auf.

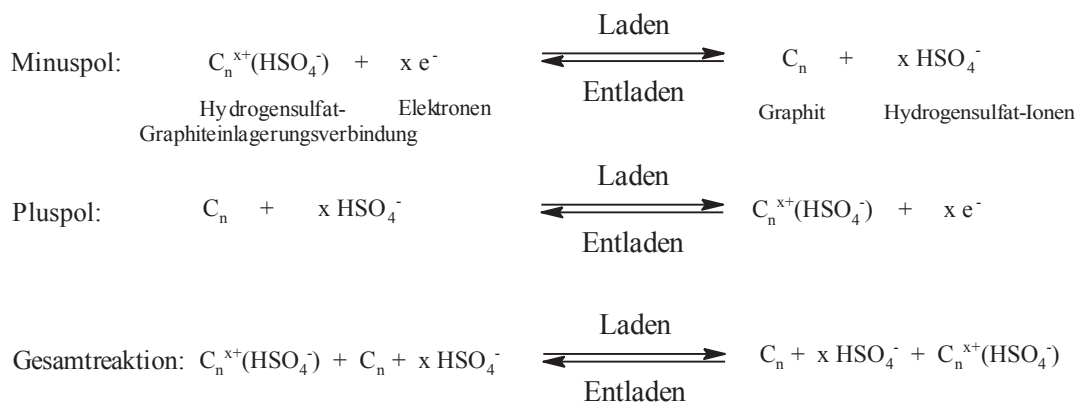


Abb. 20: Zusammenfassung der an der Anode bzw. Kathode ablaufenden Reaktionen während des Lade- und Entladevorgangs<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> D. Quarthal; M. Oetken (2016) Der erste Akkumulator auf Basis graphitischer Interkalationselektroden – Ein historischer Schritt zur Entwicklung von Lithium-Ionen-Akkumulatoren, PdN 65(3); S. 29-33

## Versuch 4a: Elektrolyse der Schwefelsäure

**!! Dieser Versuch sollte nur einmal von der ersten Gruppe durchgeführt werden!!**

**Geräte:** Große tic tac<sup>®</sup>-Dose, Spannungsquelle, Voltmeter, Verbindungskabel, Krokodilklemmen, LED-Lampe, 50 mL Standzylinder, Schere, Lineal, wasserfester Stift

**Chemikalien:** Graphitmine (d = 3,15 mm), Graphitfolie, konz. Schwefelsäure

**Sicherheitsvorschriften:** Schwefelsäure (☠)

**Vorbereitung der Graphit-Elektrode:** Schneiden Sie ein Rechteck der Größe 8 cm x 2 cm aus.

**Durchführung: !!** Der Versuch sollte nur einmal von der ersten Gruppe durchgeführt werden!!

- Messen Sie 40 mL der konzentrierten Schwefelsäure mit einem Messzylinder ab und füllen Sie diese in die tic tac<sup>®</sup> Dose ein.
- Schalten Sie eine Graphitfolie als Pluspol und eine Graphitmine als Minuspol.
- Verbinden Sie parallel hierzu ein Voltmeter (Abb. 21).

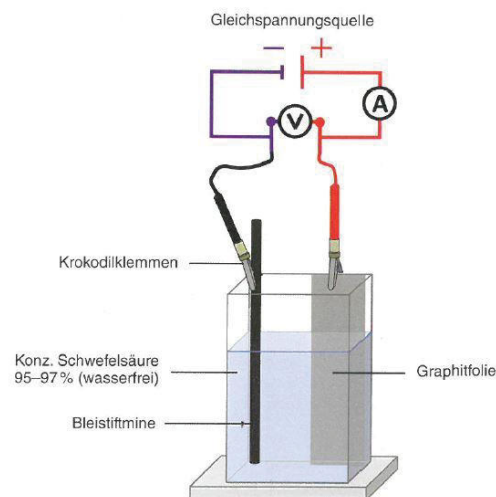


Abb. 21: Aufbau des Versuchs Elektrolyse von  $\text{H}_2\text{SO}_4$ <sup>5</sup>.

- Führen Sie die Elektrolyse bei 2,4 V für etwa 15 Minuten durch.
- Beobachten Sie mithilfe einer LED-Lampe die Graphitfolie.

**Entsorgung:** Der Aufbau wird für den Folgeversuch benötigt. (eventuell wird der Elektrolyt einmal filtriert)

Schwefelsäure wird neutralisiert und in den Abfluss gegeben. Die Elektroden werden mit Wasser gespült, getrocknet und in der Feststofftonne entsorgt.

<sup>5</sup> D. Quarthal; M. Oetken (2016) Der erste Akkumulator auf Basis graphitischer Interkalationselektroden – Ein historischer Schritt zur Entwicklung von Lithium-Ionen-Akkumulatoren, PdN 65(3); S. 29-33



Beobachtung

---

---

---

---



Auswertung

---

---

---

---

Reaktionsgleichung der Autoprotolyse von Schwefelsäure:

---

---

## Versuch 4b: $\text{HSO}_4^-$ -Ionen-Akku

**!!! Der Versuchsaufbau von Versuch 4a bleibt bestehen, ersetzen Sie lediglich die Graphitmine durch eine Graphitfolie (Abb. 22) !!!**

**Geräte:** Große tic tac<sup>®</sup>-Dose, Spannungsquelle, Voltmeter, Verbindungskabel, Krokodilklemmen, LED-Lampe, 50 mL Standzylinder, Propeller (Verbraucher), Schere, wasserfester Stift, Lineal

**Chemikalien:** Graphitfolien (2x), konz. Schwefelsäure

**Sicherheitsvorschriften:** Schwefelsäure ()

**Vorbereitung der Graphit-Elektrode:** Schneiden Sie ein Rechteck der Größe 8 cm x 2 cm aus.

**Durchführung:**

- Entladen Sie nun den Akku mithilfe eines Verbrauchers (z.B. kleiner Propeller).

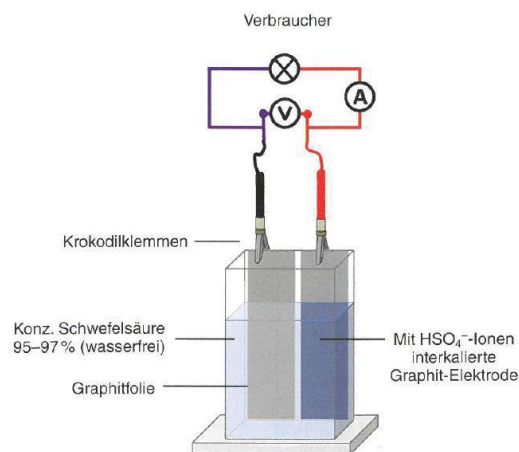


Abb. 22: Aufbau des Versuchs  $\text{HSO}_4^-$ -Akku<sup>5</sup>.

- Polen Sie den Akku um, wenn er vollständig entladen ist. (Die Kabel an der Spannungsquelle umtauschen: Minuspol wird zu Pluspol und umgekehrt.)
- Laden Sie den Akku nun unter LED-Beleuchtung mit 2 V.
- Entladen Sie nun erneut den Akku mithilfe eines Verbrauchers (oder ohne Verbraucher).
- Bei Interesse können Sie den Akku nun erneut laden und entladen.

**Entsorgung:** Der Aufbau wird für die nächsten Gruppen stehen gelassen.

Die Schwefelsäure wird gegebenenfalls filtriert und neutralisiert in den Abfluss gegeben. Die Elektroden werden mit Wasser gespült, getrocknet und in der Feststofftonne entsorgt.

<sup>5</sup> D. Quarthal; M. Oetken (2016) Der erste Akkumulator auf Basis graphitischer Interkalationselektroden – Ein historischer Schritt zur Entwicklung von Lithium-Ionen-Akkumulatoren, PdN 65(3); S. 29-33



Beobachtung

---

---

---



Auswertung

Wie ist der Farbwechsel beim Laden und Entladen zu erklären?

---

---

Warum weitet sich die Graphitfolie auf?

---



## Na<sup>+</sup>-Ionen-Akkus

### Theorie

Die Verfügbarkeit von Lithium ist beschränkt (s. Abb. 1), was aufgrund des steigenden Bedarfs an leistungsstarken Energiespeichern die Fragestellung nach Ausweichmöglichkeiten aufwirft. Am naheliegendsten sind die schwereren Homologen des Lithiums wie Natrium oder Kalium unter Beibehalten der Graphitelektrode, zumal Natrium sehr gut zugänglich ist. Jedoch zeigten Forschungen, dass diese sich, aufgrund ihrer Größe, nicht eignen, da sie das Elektrodenmaterial (das Graphit) aufweiten und somit beschädigen (Exfoliation). Außerdem besitzen sie eine deutlich geringere Energiedichte als die Li<sup>+</sup>-Ionen-Akkus (Na<sup>+</sup>-Graphiteinlagerungsverbindungen sind NaC<sub>32</sub>, NaC<sub>64</sub> und NaC<sub>120</sub>). Folglich muss das Anodenmaterial ersetzt werden, wenn ein effizienter Natrium-Ionen-Akku gebaut werden soll. Eine Verbindung, die das Interkalieren von Na<sup>+</sup>-Ionen ermöglicht, stellt Titandioxid (TiO<sub>2</sub>) dar. Das Kristallgitter von TiO<sub>2</sub> besitzt tunnelartige Hohlräume, in die die Na<sup>+</sup>-Ionen interkalieren und auch wieder deinterkalieren können.

Ähnlich wie beim Li<sup>+</sup>-Akku interkalieren die ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>-Ionen in den Pluspol (Graphit-Elektrode) und die Na<sup>+</sup>-Ionen in das TiO<sub>2</sub>-Kristallgitter. Dabei wird, wie bei den Mischmetalloxiden, das Ti(+IV)O<sub>2</sub> beim Laden reduziert und beim Entladen oxidiert. Da das gemischt-valente Ti(+IV)/Ti(+III)-Oxid blau ist, kann eine Farbveränderung beim Laden bzw. Entladen beobachtet werden.

### Versuch 6: Na<sup>+</sup>-Ionen-Akku

**Geräte:** Kleine tic tac<sup>®</sup>-Dose, Spannungsquelle, Voltmeter, Verbindungskabel, Krokodilklemmen, Elektromotor (Verbraucher), FTO-Glas, Digitalmultimeter (Widerstandsmessgerät), Klebeband, Pipette, Objektträger, Bunsenbrenner, Ceranplatte, 50 mL Messzylinder, Feuerzeug, Schere, Lineal

**Chemikalien:** Graphitfolie, Aceton, Titandioxid-Suspension, Natriumperchlorat, Propylencarbonat, Dimethylcarbonat

**Sicherheitsvorschriften:**

Natriumperchlorat () , Propylencarbonat () , Dimethylcarbonat () , Aceton ()

**Die Anode:** Als Anodenmaterial werden FTO-Gläser mit einer TiO<sub>2</sub>-Suspension bestrichen und das TiO<sub>2</sub> wird eingebakken. FTO-Gläser sind aufgrund ihrer Beschichtung elektrisch leitfähig.

**Herstellung der Kathode:** Aus der Graphitfolie wird ein 2 cm x 4 cm großer Streifen ausgeschnitten.

**Der Elektrolyt:** Natriumperchlorat-Lösung (c = 0,2 mol/L) in Propylencarbonat/Dimethylcarbonat (Verhältnis 2:3)

**Durchführung:**

- Füllen Sie etwa 20 mL der Elektrolytlösung in die tic tac® Dose.
- Tauchen Sie die Elektroden vorsichtig ein (nicht fallen lassen) und schalten Sie die Graphit-Elektrode als Pluspol und das vorbereitete FTO-Glas als Minuspol.
- **Wichtig!!** Die mit Titandioxid beschichtete Seite des Glases zeigt zur Graphitfolie.
- Schalten Sie parallel zu diesem Stromkreis ein Spannungsmessgerät (Abb. 23).

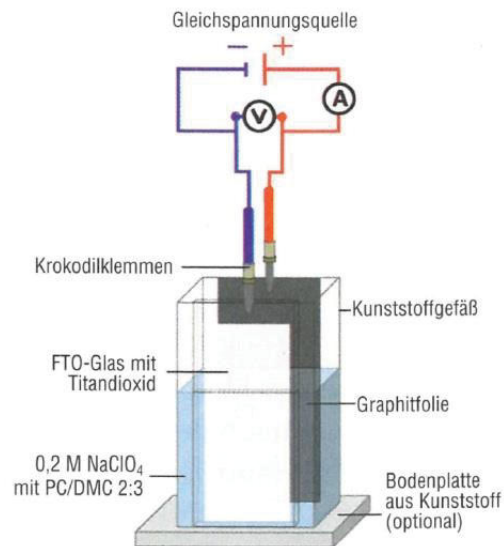


Abb. 23: Aufbau des Versuchs (De-)/Interkalation von  $\text{Na}^+$ -Ionen.<sup>6</sup>

- Laden Sie den Akku für etwa 3 Minuten bei ca. 4,6 V und notieren Sie ihre Beobachtungen.
- Entladen Sie anschließend den Akku mit oder ohne einen Verbraucher (z.B. kleiner Propeller). (Zum besseren Beobachten des Entladevorgangs sollte zunächst ohne einen Verbraucher entladen werden.)
- Sie können die Vorgänge des Ladens und Entladens wiederholen, ohne etwas austauschen zu müssen.

**Entsorgung:** Der Aufbau wird für die nächsten Gruppen beibehalten!

Das beschichtete FTO-Glas wird nach mehreren Zyklen bräunlich und die Beschichtung rissig. Der Versuch funktioniert zwar nach wie vor, aber die einheitliche Färbung ist gestört. Dann kann das FTO-Glas ersetzt werden.

Die Elektrolyt-Lösung wird filtriert und anschließend in den organischen Abfällen entsorgt. Die Graphitfolie und das FTO-Glas werden nach dem Trocknen in der Feststofftonne entsorgt.

<sup>6</sup> M. Oetken; M. Klaus (2016) Natrium-Ionen-Akkumulatoren auf Basis der „Dual-Ionen“-Speichertechnologie; PdN 65 (1); S. 31–36.



Beobachtung

---

---

---



Auswertung

Wie ist der Farbwechsel beim Laden und Entladen zu erklären?

---

---

---

**Ablaufende Redoxreaktion im  $\text{Na}^+$ -Akku:**

Reduktion (Minuspole): \_\_\_\_\_

Oxidation (Pluspol): \_\_\_\_\_

---

