

Anode und Kathode

1. Betrachtung eines Nicht-Chemikers

(Zur Vermeidung von Missverständnissen: Ich bin ein Chemiker!)

Wenn ich die üblichen Angaben von Elektrikern betrachte oder in der Anleitung zu einem Elektronik-Baukasten nachsehe, wie ich eine Diode oder eine LED einbauen soll, finde ich:

Anode = positiver Pol

Kathode = negativer Pol

→ Offenkundig setzen viele "normale Menschen" gleich: Anode (+), Kathode (-)

→ Der Merksatz "Kationen wandern zur Kathode ..." passt auch einfach zu dieser Festlegung.

Die **Festlegung** ist also **eindeutig**.

ABER: In der Chemie ist es dann anders! Eine Kathode kann dann der (+)-Pol sein.

2. Andere Definition in der Chemie

In der Chemie wird unter Betrachtung der ablaufenden Reaktion definiert!

Die Anode ist der Pol, an dem eine Oxidation stattfindet.

Die Kathode ist der Pol, an dem eine Reduktion stattfindet.

Die relative Aufladung, (+) oder (-), kommt in der Definition nicht vor. Sie ist hinterher aus den ablaufenden Reaktionen (bzw. aus der "Redoxreaktion") trivial herzuleiten.

→ Auch das ist eine **eindeutige** Definition.

3. Verwirrung

Wenn man beide Definitionen vergleicht, folgt eine Unklarheit - wenn man sich auf die Ladung bezieht.

- Es kann sein, dass dann eine Anode den (-)-Pol bildet, wenn man die Chemiker-Definition benutzt.
- Es ist sogar so, dass in einer experimentellen Anordnung derselbe Pol (aus der Zelle herausragender Metallstift) einmal Anode und einmal Kathode ist, je nachdem ob die Zelle als Stromlieferant dient (galvanische Zelle, Batterie) oder ob Strom von außen hineingeschickt wird (Elektrolyse-Zelle).
- Bei einem aufladbaren Akku ist aber ein bestimmter Pol sicher stets immer der (+)-Pol - und nicht einmal (+)-Pol und einmal (-)-Pol. Der Akku hat Aufdrucke "+" und "-"; und dies gilt für die Ladung und die Entladung! Es gibt sogar Akkus mit der Beschriftung "Anode" und "Cathode". (Dabei wird trivialerweise die "Elektriker-Definition" benutzt!)

4. Geschichtliches: Ursprüngliche Definition und Verwendung der Begriffe

Eingeführt wurden die Begriffe Anode und Kathode von **Faraday 1834**.

- ◆ In place of the term *pole* I propose using that of *electrode* ...
- ◆ Many bodies are decomposed directly by the electric current ...; these I propose to call *electrolytes*.

Für die Richtung eines elektrischen Stroms wird eine Analogie zum Magnetfeld der Erde benutzt. Dieses sei auch durch einen fließenden elektrischen Strom erzeugt. Dieser fließt von Ost nach West. Dies ist auch die Richtung für den Sonnenaufgang und Untergang.

- ◆ Upon this notation we purpose call that towards the east the anode ...
- ◆ Anode: ana (gr.) upwards, odos a way; the way which the sun rises
anion (gr) that which goes up
- ◆ Kathode: kata downwards; the which the sun sets
- ◆ The *anode* is that surface at which the electric current enters ...
- ◆ I propose to call these bodies which go to the anode as *anions* ...
- ◆ Electric current ... proceeding from the parts which are positive to those which are negative ...

In der "**Kurzen Darstellung des Galvanismus, Müller, Liebig 1836**" ist der Sachverhalt mit dem Strom nach Faraday erklärt.

- ◆ Wenn der Magnetismus der Erde, wie man glaubt von elektrischen Strömen herrührt, welche die Erde umkreisen, so müssen wir ... zur Erklärung der Erscheinungen annehmen, dass ein Strom positiver Elektrizität in Richtung der scheinbaren Bewegung der Sonne, d.h. von Osten nach Westen sich bewege. ... Die Anode ist das negative Ende der zu zersetzenden Flüssigkeit, wo Chlor, Sauerstoff, Säuren u.s.w. entwickelt werden.

Interessant ist, dass schon damals die neuen Begriffe als "nicht ganz eindeutig" angesehen wurden, ist die Feststellung:

- ◆ Was man auch von der Nothwendigkeit einiger dieser Ausdrücke halten mag, so sind doch die Benennungen: *Elektrode*, *elektrolysiren* und *Elektrolyt*, allgemein angenommen.

Experimente werden eindeutig - ohne Verwendung der neuen Begriffe - beschrieben:

- ◆ Wenn zwei Gold- oder Platindrähte mit den entgegengesetzten Enden einer Batterie verbunden und ihre Enden in ein und dasselbe Gefäß mit Wasser eingetaucht werden, ohne dass sie sich berühren, so entbindet sich Wasserstoffgas am negativen, Sauerstoffgas am positiven Drahte.
- ◆ ... tauchte er das negative Metallende in das Wasser der einen Zelle ...

Im "**Handbuch der Chemie, Gmelin 1843**" ist eine Definition über die Ladung zu finden.

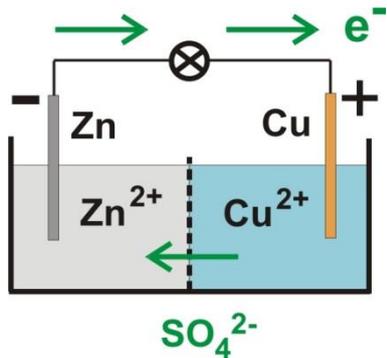
- ◆ ... der Anode oder dem + Pol ...", "... der Kathode oder dem - Pol ...

Im "**Physikalischen Handbuch, Brandes, Gmelin 1845**" ist Faradays Definition referiert.

- ◆ ... die Oberflächen, durch welche der Strom zur Substanz aus- oder eintritt, werden eine unveränderliche Bezeichnung haben. Hiernach soll die östliche Fläche Anode ... heißen. Die Anode ist also die Fläche, durch welche der elektrische Strom eintritt ..."

➔ Erkennbar ist, dass für den untersuchten Fall der Elektrolyse zwar eine Betrachtung der ablaufenden Reaktion durchgeführt ist, aber teilweise eine Verknüpfung mit dem Vorzeichen der Ladung (+) oder (-) stattfindet.

5. Konkret: Kupfer-Zink-Zelle (Daniell-Element)



Die (galvanische) Zelle kann durch eine symbolische Schreibweise definiert werden:



a ist die Aktivität (die "wirksame Konzentration", die auf das tatsächliche Geschehen korrigierte Stoffmengenkonzentration, in mol/l)

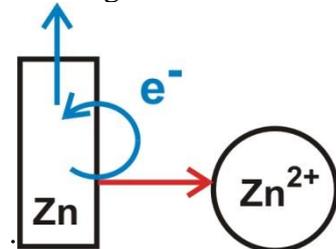
Wenn wir $a_1 = a_2 = 1 \text{ mol/l}$ wählen und ein Voltmeter an die beiden Metallstäbe anschließen, messen wir eine Spannung von 1,1 V. Der (+)-Pol ist bei Cu.

→ Der "normale Mensch" sagt also: **Cu (+) ist die Anode, Zn (-) ist die Kathode.**

Bei Stromentnahme stellen wir nach einiger Zeit fest, dass sich Zink aufgelöst hat und Kupfer abgeschieden wurde.

Das (richtig geschriebene!) Symbol enthält diese Information: Die linke Halbzelle ist der (-)-Pol, es laufen die Reaktionen $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$ und $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}$ ab.

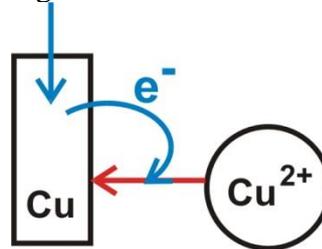
Als Folge der Reaktionen entsteht eine Aufladung der Elektroden:



Oxidation $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$

Elektronen bleiben in der Elektrode zurück.

→ negative Aufladung



Reduktion $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}$

Elektronen werden der Elektrode entnommen.

→ positive Aufladung

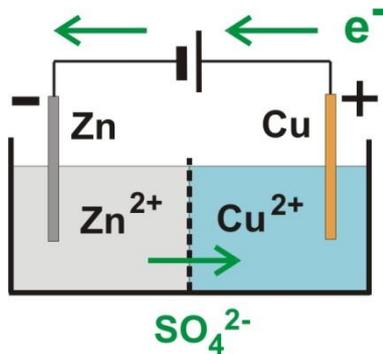
Die Sulfationen wandern durch das Diaphragma für den Ladungsausgleich bzw. zum Schließen des Stromkreises. Der fließende Strom kann im Verbraucher genutzt werden, z.B. eine Lampe zum Leuchten zu bringen.

→ Mit der Chemiker-Definition gilt damit: **Zn ist die Anode, Cu ist die Kathode.**

→ **ABER: Zn (-), Cu (+)**

Die Aufladungen der Anode und Kathode werden widersprüchlich zum Elektriker benutzt.

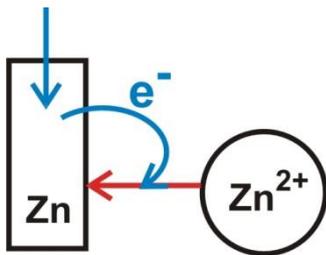
6. Wiederaufladen der Kupfer-Zink-Zelle (Elektrolyse)



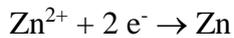
Durch von außen angelegte Spannung soll die Zelle rege-
niert werden.

(Die Spannung muss dabei die EMK - Eigenspannung der
Zelle - übersteigen, also $> 1,1 \text{ V}$ sein.)

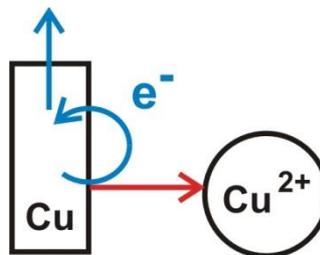
Die Reaktionen müssen demnach rückwärts ablaufen:



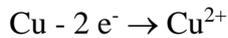
Weil beim Zink-Pol Elektronen zugeführt
werden, ist dies der (-)-Pol.



chemisch: **Reduktion**



Beim Kupfer-Pol werden Elektronen abge-
führt, dies ist der (+)-Pol.



chemisch: **Oxidation**

→ Der "normale Mensch" sagt wieder: **Zn ist die Kathode, Cu ist die Anode.**

→ Der Chemiker sagt: **Zn ist die Kathode, Cu ist die Anode.**

Anode und Kathode werden hier gleichsinnig benutzt.

7. Die Verwirrung kann vermieden werden!

ABER: Die unterschiedliche Verwendung gleicher Worte bleibt bestehen!

Die Benennungen Anode und Kathode werden von Elektrikern und Chemikern verschiedenartig benutzt!

→ Der Elektriker (bzw. "der normale Mensch") betrachtet das Vorzeichen der Ladung.

→ Der Chemiker betrachtet die ablaufende Reaktion.

- Bei der direkten Umkehrung der stromliefernden Reaktion durch eine Elektrolyse benennen Chemiker und Elektriker identisch.
- Bei einer galvanischen Zelle (Batterie) benennen Chemiker und Elektriker die Elektroden entgegengesetzt!

→ In der **Elektrik** ist die Angabe (+), (-) **eindeutig**. **Anode** und **Kathode** sind **nur andere Wörter** dafür. (Sie beschreiben dann **nur** die für Anwendungen wichtige Festlegung, wie ein Bauteil anzuschließen ist.)

→ Der **Chemiker** kümmert sich primär nicht darum, dass seine Anordnung auch Strom liefert oder verbraucht, sondern betrachtet ebenso **eindeutig** die ablaufenden **chemischen Vorgänge**. Es muss dann unterschieden werden, ob durch von außen zugeführte Elektronen eine Reaktion stattfindet (Elektrolyse) oder ob in der Zelle ablaufende Reaktionen zu einer Aufladung der Elektroden führen (galvanische Zelle). Die **Richtung des Elektronenflusses** (Strom) **kehrt sich um**, Chemiker wählen dafür die Begriffe Oxidation und Reduktion. Darum ist dann **dieselbe Elektrode einmal Anode und einmal Kathode!**

Der Bezug (Kontext) **muss** beachtet werden!

Was der Elektriker Anode benennt, kann also der Chemiker Anode oder Kathode benennen.

Leider wird offenkundig dasselbe Wort für verschiedene Sachverhalte benutzt.

8. Anmerkung

→ **Eindeutig** mit der Ladung verknüpft sind die Begriffe Anion und Kation.

→ **Eindeutig** mit der Ladung verknüpft ist das Symbol für eine galvanische Zelle,

| .. | .. || .. | .. |.

Die linke Halbzelle bildet den negativen Pol. (Wenn das Symbol richtig geschrieben wird, was leider nicht immer der Fall ist!) Die Reihenfolge der angeschriebenen Stoffe zeigt direkt die ablaufenden Reaktionen in den Halbzellen an.

→ Für die (galvanische) Zelle ist dies:

| Zn | ZnSO₄ (a₁) || CuSO₄ (a₂) | Cu |

(-) bei Zn; Reaktionen: Zn → Zn²⁺ (Oxidation), Cu²⁺ → Cu (Reduktion)

→ Unter Beachtung der Vorschrift, dass die Stoffe in Richtung der ablaufenden Reaktion angeschrieben werden, ist ein Symbol für die Cu-Zn-Elektrolyse von 6.:

| ZnSO₄ (a₁) | Zn || Cu | CuSO₄ (a₂) |

Auch hier bildet die linke Seite wieder den (-)-Pol.

Reaktionen: Zn²⁺ → Zn (Reduktion), Cu → Cu²⁺ (Oxidation)

→ Unnötig verwirrend ist für die Elektrolyse die Alternative

| Cu | CuSO₄ (a₂) || ZnSO₄ (a₁) | Zn |

Hier sind die ablaufenden Reaktionen richtig gekennzeichnet, aber die linke Seite bildet jetzt den (+)-Pol!

Am besten verwendet man das Symbol nur für die galvanische Zelle!

9. Stimmt der Merksatz "Anionen zur Anode, Kationen zur Kathode" immer?

→ Für den "normalen Menschen" ist die Sachlage **eindeutig!**

Positive Kationen werden von dem negativen Pol, der Kathode, angezogen.

→ Stimmt der Satz **auch** noch in der **Chemie**?

• Zuerst die **Elektrolyse**:

Eine Teilreaktion war $\text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$. **Das Kation Zn^{2+} wandert also an die Kathode.** Dies ist bei der Elektrolyse auch der (-)-Pol.

→ Das positive Kation wandert zur negativen Kathode.

Für das Anion müssen wir das Gesamtgeschehen betrachten. Zur Erhaltung des Ladungsausgleichs müssen die Sulfat-Anionen vom Zn- in den Cu-Raum wandern, also in Richtung Anode. (Für Experten: ... oder ein entsprechendes Ion eines Stromschlüssels, falls nicht ein neutrales Diaphragma verwendet wird.)

• Nun die **Stromerzeugung**:

Eine Teilreaktion war $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$. **Das Kation Cu^{2+} wandert zu Cu**, und das ist die **Kathode!** Damit ist der Merksatz "gerettet" - auch wenn nun ein (+)-Ion zu einer (+)-Elektrode wandert.

→ Das positive Kation wandert zur positiven Kathode.

Für das Anion muss wieder betrachtet werden, dass Sulfat zum Ladungsausgleich aus dem Cu- in den Zn-Raum fließt, also in Richtung zur Anode. Der Merksatz gilt auch - allerdings wandert ein (-)-Ion in Richtung zu einer (-)-Elektrode.

Anmerkung: Ich stimme denen zu, die allerdings diese Argumentation "spitzfindig und wenig hilfreich" finden! Damit ist ein Merksatz gerettet, der auch im Anfangsunterricht Chemie Ladungsbeziehungen erklären sollte.

10. (Launige) Nachbemerkung

- Die rhetorische Verstärkung (Tautologie) "anodische Oxidation" und "kathodische Reduktion" ist für einen Chemiker eigentlich überflüssig. Der "normale Mensch" begegnet diesen Begriffen aber auch nicht, wird also nicht zusätzlich verwirrt.
- Der "normale Mensch" darf beim Basten mit seinem Elektronik-Baukasten weiterhin die LED mit der Merkregel "Kurz = Kathode" mit dem kürzeren Draht (der Kathode) als (-) anschließen. Der Chemiker vergisst dann einfach das Gelernte, wird zum "normalen Menschen" und schließt auch richtig an.