

„Untergehende Sonne“ oder wie das Blau des Himmels entsteht

Peter Bützer

**„Es gibt Maler, die die Sonne in einen gelben Fleck verwandeln.
Es gibt aber andere, die dank ihrer Kunst und Intelligenz einen gelben Fleck in
die Sonne verwandeln.“**

Pablo Picasso, (Ruiz y Picasso), spanischer Maler (1881-1973)

Inhalt

1	Einleitung/Theorie	2
2	Aufgabenstellung.....	3
3	Beobachtungen/Messungen.....	3
3.1	Reaktionsgleichungen/Berechnungen.....	4
4	Simulation.....	4
4.1	Modell-Annahmen	4
4.2	Simulationsdiagramm (Typ 3 und Typ 4).....	5
4.3	Zeitdiagramm	5
4.4	Dokumentation (Gleichungen, Parameter)	5
4.5	Vergleich von Messung und Simulation	7
5	Interpretation	7
6	Das Blau des Himmels	7
7	Der Einfluss der Temperatur	9
7.1	Simulation der RGT-Regel, Q10-Regel, Regel von van't Hoff.....	9
7.2	Experiment ohne weitere Hilfsmittel	9
7.3	Interpretation	10
8	Literatur	10



Abbildung 1: Der blaue Anteil des Sonnenlichts wird auf alle Seiten weggestreut, daher ist der Himmel blau.



Abbildung 2: Bei der untergehenden Sonne wird das blaue Licht weggestreut, es bleibt viel Orange und Rot übrig.

1 Einleitung/Theorie

Kurzwelliges Licht (blau) wird stärker gestreut als langwelliges (rot). Das Sonnenlicht, das am klaren Himmel von den Molekülen der Luft - und kleinsten Wassertröpfchen und Staub - abgelenkt wird bildet das Himmelsblau. Am Tag, wenn die Sonne hoch steht, erscheint sie hellgelb, der Himmel rundherum jedoch blau. Am Morgen oder Abend muss die Sonne grössere Luftschichten durchdringen, mehr Licht wird gestreut, es zeigt sich das Morgen- resp. Abendrot.

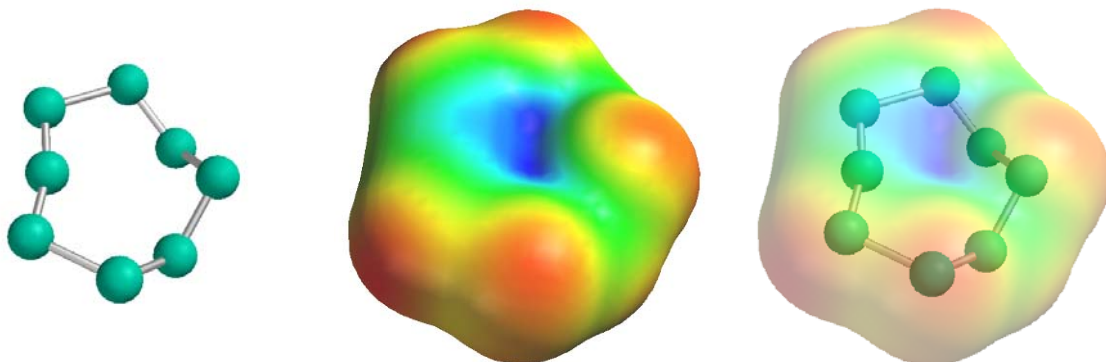
Wenn die Sonne am Morgen noch nicht aufgegangen oder am Abend schon untergegangen ist, dann kann man sie nicht sehen, wohl aber den Himmel mit dem blauen Licht – die blauen Stunden.

Sind in der Atmosphäre mehr Staubteilchen oder Wassertröpfchen enthalten, erfolgt stärkere Lichtstreuung - es erscheint ein "schöneres" Abendrot. Ein dunkles Abendrot deutet jedoch (wie auch ein Morgenrot) eher auf regnerisches Wetter hin, da ja der Wassergehalt höher ist bzw. die Staubteilchen als "Regen-Keime" wirken.

Bei dem vorliegenden Experiment wird gelöstes Natriumthiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) mit Säure katalytisch in festen Schwefel (S_8) und gelöstes Natriumsulfit (Na_2SO_3) umgewandelt. Der Schwefel ist im Wasser unlöslich und fällt aus der Lösung langsam und in so kleinen Partikeln aus, dass das blaue Licht weggestreut wird. Dem durchgestrahlten Licht fehlt das Blau und es hat die Komplementärfarbe Orange. Auf einem Hellraumprojektor wird dann das durchstrahlende Licht allmählich immer roter, während das zur Seite weggestreute Licht blau ist.

Diese Situation entspricht der Realität:

- Das weisse Licht des Hellraumprojektors entspricht dem Sonnenlicht.
- Das Becherglas mit den sich bildenden kleinsten Schwefelteilchen entspricht der Atmosphäre.
- Das projizierte Licht entspricht dem Blick auf die rot werdende Sonne durch die Atmosphäre z.B. beim Sonnenauf- oder – untergang.
- Das weggestreute Licht entspricht dem blauen Himmel neben der Sonne.



räumliches Modell von einem S_8 -Molekül

Elektronendichte-Oberfläche (van der Waals Radius)
Rot: hohe e-Dichte
Blau: kleine e-Dichte

Beide Modelle überlagert

Abbildung 3: Modelle von Schwefel als S_8

2 Aufgabenstellung

Man baue ein Modell auf und simuliere damit die Messungen, welche als Daten und als Grafik vorliegen.

Das Modell soll die bekannten chemischen Prozesse so gut als möglich nachbilden, um diese zu verstehen.

Durchführung

Das Experiment der „Untergehenden Sonne“ ist in der chemischen Experimentalliteratur oft beschrieben z.B.¹.

Na₂S₂O₃: 2 ml, 0.5 mol/l

HCl: 2 ml, 1 mol/l

Intervall: 0.1 s

Messdauer: 60 s

Temperatur: 22° C

Als Lichtquelle wurde ein Hellraumprojektor verwendet, als Sensor der „Light Sensor“ von Vernier.

Über den Sensor wurde ein Gummischlauch gestülpt um den Fremdlichteinfluss zu reduzieren.

Zeit (s)	Lichtintensität (Lux)
10	3434
11	3435
12	3438
13	3444
14	3432
15	3431
16	3361
18	2893
19	2496
20	2068
21	1672
22	1352
23	1111
24	939
25	822
26	743
27	687
28	647
29	614
30	589
31	573
32	556
33	545
34	532
35	525

3 Beobachtungen/Messungen

Bestimmung der wichtigsten Parameter:

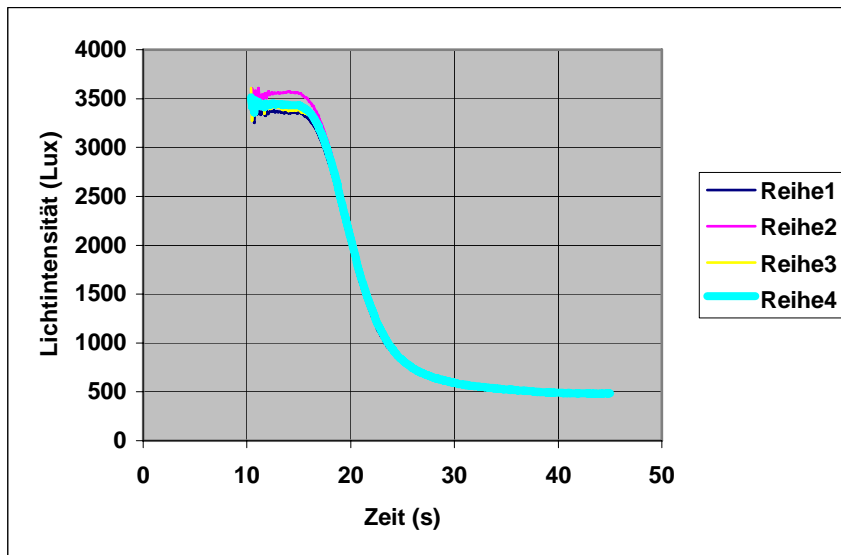
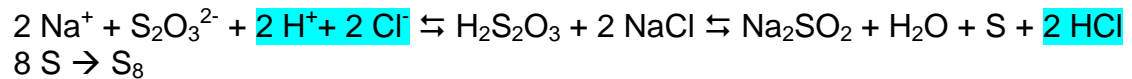


Abbildung 4: Lichtintensität des durchscheinenden Lichts in Funktion der Zeit (4 Messungen und die Reproduzierbarkeit zu überprüfen). Nebenstehend eine Tabelle mit Messwerten für jede Sekunde.

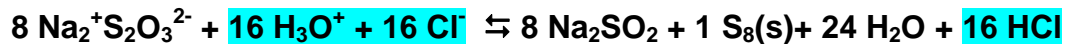
3.1 Reaktionsgleichungen/Berechnungen

Beim Ansäuern einer Thiosulfat-Lösung kommt es zu einem Zerfall des Thiosulfats in Schwefeldioxid und Schwefel, der als S₈-Moleküle kolloidal ausfällt:

Es handelt sich um 2 Gleichgewichtsreaktionen und eine irreversible Reaktion:



Als Summe kann geschrieben werden:



A⁻: Säurerest, also z.B. Cl⁻ bei HCl, oder CH₃COO⁻ bei CH₃COOH etc.

S₈(s): Schwefel als Festkörper (s= solid), welcher ausfällt

Die Säure (16 HCl) ist für die Reaktion notwendig wird jedoch nicht aufgebraucht → sie ist Katalysator.

4 Simulation

4.1 Modell-Annahmen

1. Reaktion des Thiosulfats mit dem Katalysator (Säure) als Gleichgewicht
2. Zersetzung (Disproportionierung) des Thiosulfats zu elementarem Schwefel (S₈) und Sulfit als Gleichgewicht.
3. Reaktion der Schwefelmoleküle zu Kolloiden und dann zu grösseren Teilchen (Cluster).

Einige freie Parameter müssen abgeschätzt werden, da dafür keine Messdaten zur Verfügung stehen. Die Werte dieser Parameter müssen jedoch plausibel erklärt werden können. Die Variationen dieser Parameter dürfen die wesentliche Kurvenform nicht entscheidend beeinflussen und nur zur Anpassung an das Experiment dienen.

4.2 Simulationsdiagramm (Typ 3 und Typ 4)²

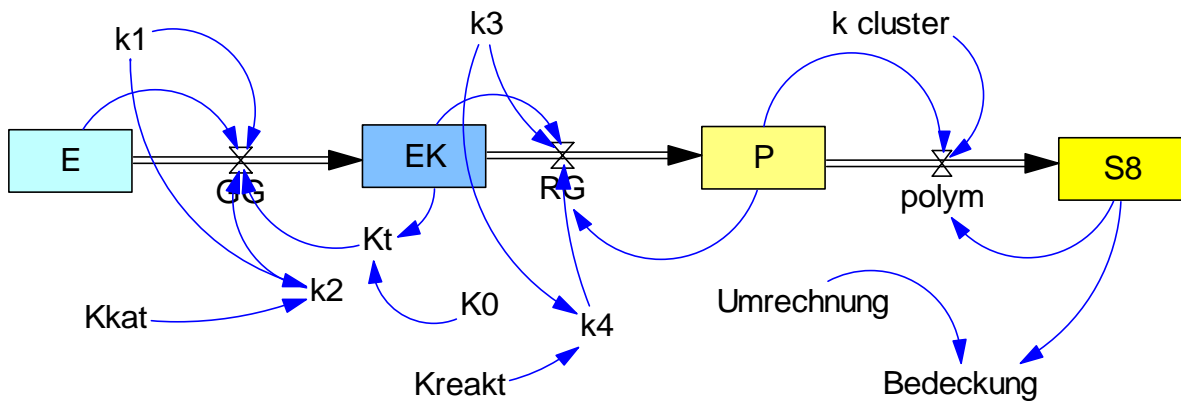


Abbildung 5: Einfaches Simulationsdiagramm der Reaktion "Untergehende Sonne" (E: Edukt, EK: Edukt-Katalysator-Komplex $H_2S_2O_3$, P: Produkt, S8: Schwefel als S_8 -Molekül)

4.3 Zeitdiagramm

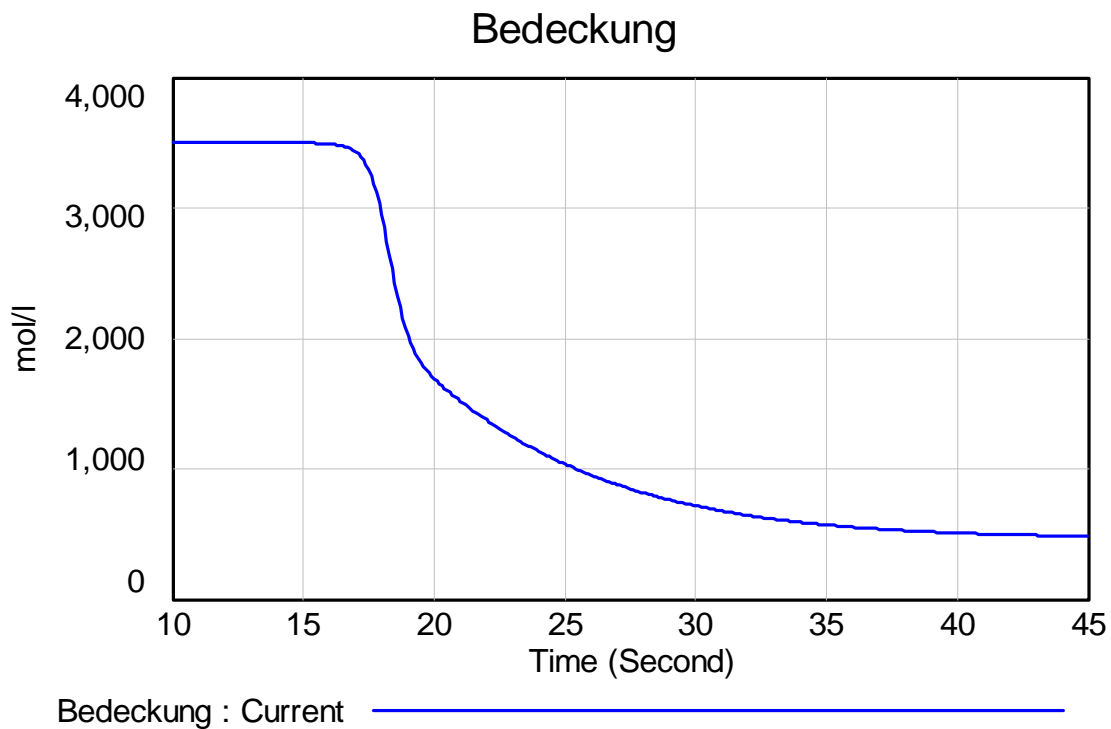


Abbildung 6: Zeitdiagramm der Lichtintensität des durchscheinenden Lichts der Lösung in Funktion der Zeit

4.4 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) Bedeckung= Umrechnung*(0.5-S8)
Units: Lux [0,?]
Umrechnung in lux
- (02) E= INTEG (-GG, 0.5)
Units: mol/l [0,?]
- (03) EK= INTEG (GG-RG, 0)
Units: mol/l [0,?]

- (04) FINAL TIME = 45
Units: Second
The final time for the simulation.
- (05) GG= $k_1 \cdot E \cdot K_t - 2 \cdot k_2 \cdot K_t$
Units: mol/l/Second [0,?]
- (06) INITIAL TIME = 10
Units: Second
The initial time for the simulation.
- (07) k cluster= 100
Units: 1/Second/mol*l [0,?]
geschätzt
- (08) K0= 1
Units: mol/l [0,10]
eingesetzt
- (09) k1= 0.2
Units: 1/Second*l/mol [0.1,0.4]
geschätzt
- (10) k2= k_1 / K_{kat}
Units: 1/Second [0,?]
- (11) k3= 0.25
Units: 1/Second [0,?]
aus einem Experiment der Temperaturabhängigkeit
- (12) k4= k_3 / K_{reakt}
Units: 1/Second [0,?]
- (13) Kkat= 30
Units: l/mol [10,100,10]
geschätzt
- (14) Kreakt= 100
Units: Dmnl [1,100]
geschätzt
- (15) Kt= $K_0 - EK$
Units: mol/l [0,?]
- (16) P= INTEG (RG-polym, 0)
Units: mol/l [0,?]
- (17) polym= $P/8 \cdot S_8 \cdot k \text{ cluster}$
Units: mol/(Second*l) [0,?]
die S8 Moleküle bilden Partikel, die umso rascher wachsen, je mehr S8-Moleküle vorhanden sind --> Clusterbildung
- (18) RG= $k_3 \cdot EK - 2 \cdot k_4 \cdot P$
Units: mol/(Second*l) [0,?]
- (19) S8= INTEG (polym, 1e-005)
Units: mol/l [0,?]
Es wird S8 gebildet
- (20) SAVEPER = 0.1
Units: Second [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (21) TIME STEP = 0.01
Units: Second [0,?]
The time step for the simulation.
- (22) Umrechnung= 3500
Units: Lux/mol*l

4.5 Vergleich von Messung und Simulation

Die Messungen zeigen einen nicht trivialen Verlauf – kein blosser exponentieller Verlauf.

Besonders die Verzögerung am Anfang der Reaktion ist eine Herausforderung an das Modell.

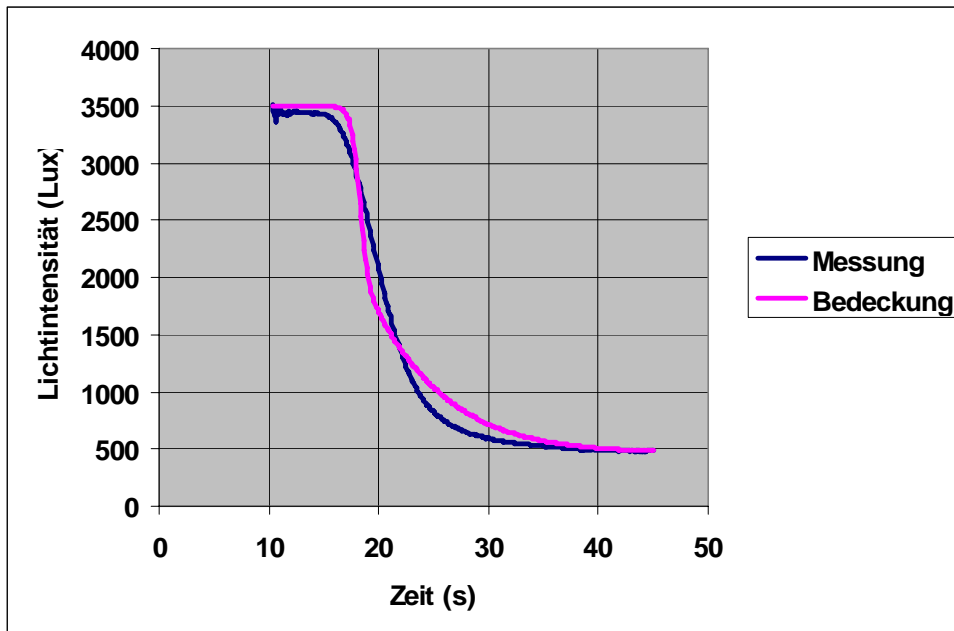


Abbildung 7: Lichtintensität des durchscheinenden Licht in Funktion der Zeit

Der Vergleich lässt noch systematische Abweichungen erkennen, was darauf hindeutet, dass das Modell die Realität noch nicht ganz richtig beschreibt.

5 Interpretation

Dieses Experiment scheint sehr einfach zu sein – eine Substanz zersetzt sich mit einem Katalysator. Die Simulation macht jedoch deutlich, dass der Reaktionsablauf recht kompliziert ist. Vor allem die Verzögerung bis die Reaktion startet weist darauf hin, dass sich hier mehrere Reaktionen sequenziell folgen.

6 Das Blau des Himmels

Experimente mit grossen Volumina um den Effekt des blauen Himmels und der untergehenden Sonne in Abhängigkeit der Konzentration zu zeigen.

Natriumthiosulfatlösung (0.1 mol/l), Wasser und Salzsäure (1 mol/l)

Als Alternative kann Citronensäure, Milchsäure oder Essigsäure verwendet werden.

Der blaue Anteil des weissen Lichts des Hellraumprojektors wird durch die feinen Schwefelpartikel etwa fünf mal mehr gestreut als der rote (Rayleigh-Streuung).

Der Hellraumprojektor wird mit einem Karton abgedeckt, der in der Mitte ein Loch hat, das nicht ganz dem Durchmesser des Becherglases entspricht.

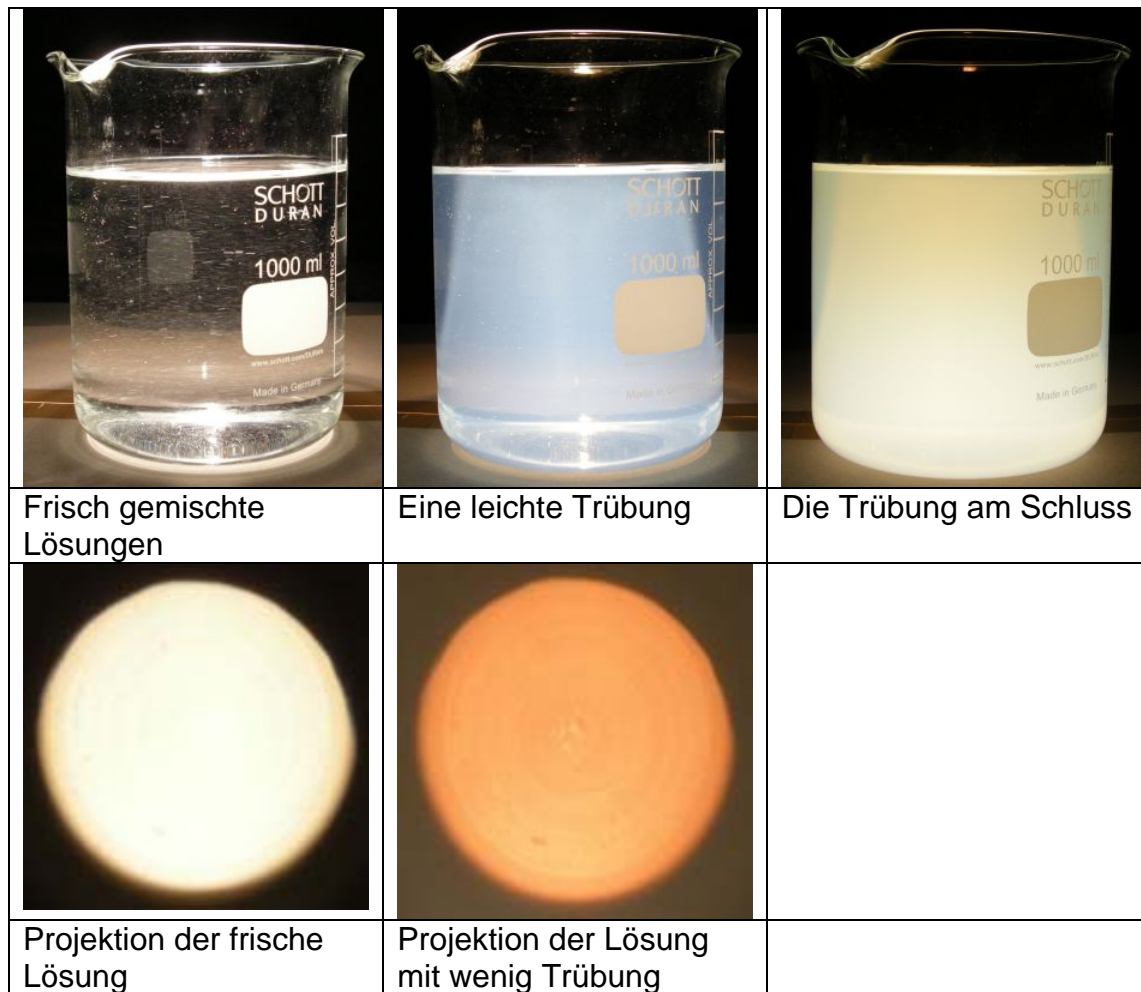


Abbildung 8: Experiment auf dem Hellraumprojektor

Folgerung:

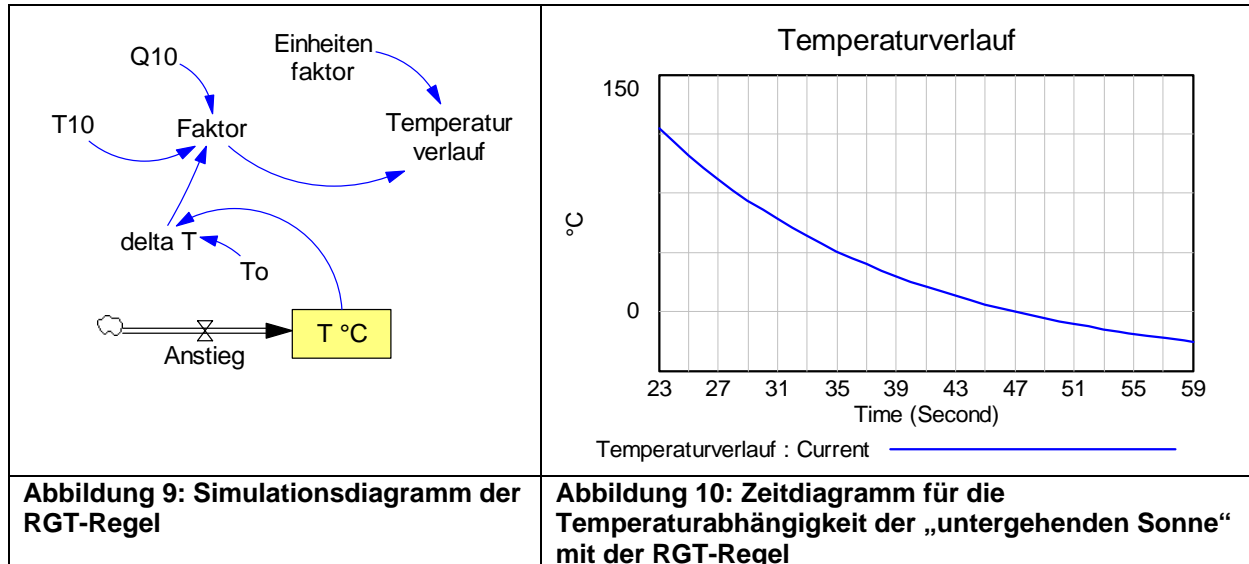
Von der Seite erscheint das Blau, während auf der Projektionswand die „untergehende Sonne“ beobachtet werden kann.

Tabelle 1: Mögliche Konzentrationsreihen der Experimente (nach der Zugabe gut mischen!)

Experiment	Na ₂ S ₂ O ₃ Volumen	Na ₂ S ₂ O ₃ mol/l	H ₂ O	HCl	HCl mol/l
1	250 ml	0.096	---	10 ml	0.0385
2	200 ml	0.077	50 ml	10 ml	0.0385
3	150 ml	0.058	100 ml	10 ml	0.0385
4	100 ml	0.038	150 ml	10 ml	0.0385
5	50 ml	0.019	200 ml	10 ml	0.0385

7 Der Einfluss der Temperatur

7.1 Simulation der RGT-Regel, Q10-Regel, Regel von van't Hoff



7.2 Experiment ohne weitere Hilfsmittel³

Substanzen: 10 ml 1 mol/l HCl, 50 ml 0.005 mol/l Na₂S₂O₃

Durchführung:

1. Auf einem weissen Blatt wird ein dünnes, blaues Kreuz (5 x 5 cm) gezeichnet.
2. Auf dieses Blatt wird ein 100 ml Becherglas gestellt.
3. Nun werden die 50 ml Thiosulfatlösung vorgelegt
4. Rasch und unter Rühren werden die 10 ml Salzsäure zugegeben und die Stoppuhr gestartet.
5. Nun wird die Zeit gemessen bis das Tintenkreuz nicht mehr sichtbar ist.
6. Dieser Versuch mindestens 3 Mal oder aber solange wiederholt, bis die Resultate nicht mehr als 20% abweichen

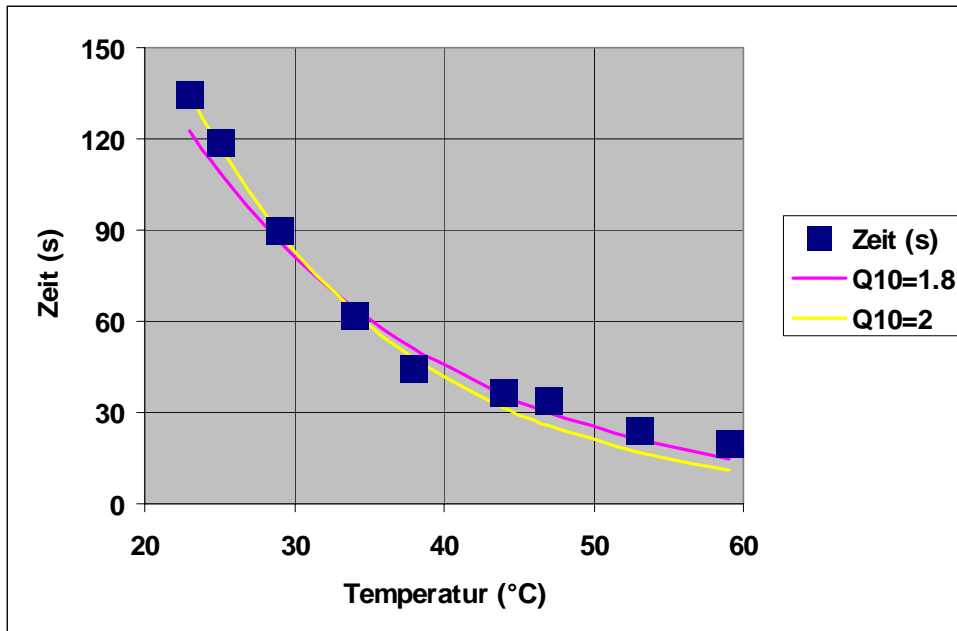


Abbildung 11: Vergleich von Messung und Simulation

7.3 Interpretation

Der Vergleich von Messung und Simulation zeigt:

- Die Simulation der RGT-Regel ist in diesem Temperaturbereich zulässig.
- Der Faktor Q10 ist in diesem Fall etwa 1.8.
- Die Aktivierungsenergie kann mit diesen Messdaten zu 44 kJ/mol abgeschätzt werden (Arrhenius-Gleichung).

8 Literatur

¹ Wagner, G., Chemie in faszinierenden Experimenten, Aulis-Deubner Köln, 1991 (7. Aufl.), 64

² Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, Systemdynamik in Chemie und Biochemie, Verlag Pestalozzianum, 2006, 50ff, 57ff

³ Hill G.C., Holman J.S., Chemistry in Context, Thomas Nelson and Sons Ltd, Walton on Thames, Surrey, 1983, 364