



Umweltaspekte der Energiezufuhr chemischer Reaktionen

Zusammenfassung

Die aus der Bereitstellung elektrischer oder thermischer Energie resultierenden Umweltlasten sind von besonderer Bedeutung. Sie dominieren häufig die Gesamtumweltauswirkung von Produkten oder Prozessen. Um die Umweltlasten zu verringern, muss Energie sehr effizient eingesetzt werden. Auf diese Anforderung wird in vielen chemisch-technischen Anlagen bereits Rücksicht genommen, in Laborversuchen dagegen findet die Energiereduktion bisher wenig Beachtung.

Alle Techniken zum Eintrag der für Synthesen benötigten Reaktionsenergie verbrauchen elektrische Energie. Die Wirkungsgrade verschiedener Heiztechniken differieren jedoch deutlich. Eine Untersuchung erbrachte, dass sich für eine spezifische Umsetzung die benötigte Energiemenge für die verschiedenen Methoden des Energieeintrages sehr deutlich unterscheiden. So wurden z.B. unter Verwendung eines Heizpilzes nur 70% der bei der Reaktion mit einem Ölbad verbrauchten elektrischen Energie dem Netz entnommen. Gar nur 20 % der bei der Verwendung eines Ölbad verbrauchten Energie wurde bei einer Reaktion im Mikrowellenfeld benötigt. Die ermittelten Unterschiede lassen sich vor allem auf die sich in ihrer Größe unterscheidenden Energieverluste an die Umgebung, d.h. den Wirkungsgrad der Energieübertragung vom Heizmedium auf das Reaktionsmedium, erklären. Die Bedeutung des diskutierten Aspekts lässt sich an der Größe der Unterschiede erkennen. Die Effektivität des Energieeintrags ist danach bei chemischen Reaktionen von großem Einfluss und sollte daher dem Stoffaspekt gleichwertig zur Seite gestellt werden.

Falls möglich, sollte der Einsatz von Heizpilzen dem Einsatz von Heizbädern vorgezogen werden. Auch der Einsatz nichtklassischer Methoden der Energiezufuhr wie z.B. Mikrowellen kann eine Einsparung elektrischer Energie bringen. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die verwendete Versuchsanordnung so gut wie möglich isoliert ist, um den Energieverlust zu minimieren und damit den Anteil der neu zuzuführenden Energie zu reduzieren.



Die gegebenen Empfehlungen gelten natürlich nur, wenn bei einer Reaktion weder Sicherheitsaspekte wie z.B. lokale Überhitzung bei der Nutzung von Heizpilzen, noch Gründe der praktischen Durchführbarkeit dagegen sprechen.

Ziel der Untersuchungen und Versuche ist es nicht, den unbedeutenden Energieverbrauch im Laborpraktikum zu senken. Es soll vielmehr bei den Studierenden eine Sensibilisierung für den Energieverbrauch und Energieverlust bei chemischen Reaktionen erreicht werden. Bei einer Maßstabsvergrößerung entscheiden diese Faktoren über die Effizienz einer Stoffumwandlung.

Einführung

Die aus der Nutzung bzw. dem Verbrauch von Energie resultierenden Umweltbelastungen, z.B. die Emissionen aus der Erzeugung elektrischer oder thermischer Energie durch Verbrennung fossiler Energieträger, dominieren in vielen Fällen das Ergebnis von Ökobilanzen ([1] Beck *et al.*, 2000), d.h. die Höhe der Umweltlast eines Prozesses wird dadurch oft wesentlich bestimmt.

Bei chemischen Reaktionen muss häufig Energie in Form von Wärme zu oder abgeführt werden um. Bei Reaktionen im Labor wird die zuzuführende Energie meist mit Hilfe von Geräten wie Heizpilz, Heizbändern oder Heizbädern bereitgestellt. Weitere Methoden der Energiezufuhr, wie beispielsweise die Reaktion im Mikrowellenfeld, der Einsatz von Ultraschall oder mechanischer Energie kommen zu Zeit noch weit weniger zum Einsatz und sind oft nur für sehr spezielle Reaktionen verwendbar. Auch wenn bei den verschiedenen Methoden unterschiedliche Prinzipien des Energieeintrags zum Tragen kommen, unterscheiden diese sich in einem wesentlichen Punkt nicht: Sie alle wandeln elektrischer Energie, die dem Leitungsnetz entnommen wird, in die gewünschte Energieform um.



Die Untersuchung

Welche Methode des Energieeintrags verbraucht die geringste Energie?

Welche der möglichen Methoden zur Bereitstellung der Reaktionsenergie ist aus ökologischer Sicht die günstigste, d.h. welche Methode entnimmt dem Netz für eine spezifische Reaktion die geringste Menge elektrischer Energie und hat damit den höchsten Gesamtwirkungsgrad? Um diese Frage zu untersuchen, wurde eine Reaktion je einmal unter Verwendung eines Heizpilzes und eines Heiztisches mit Ölbad sowie im Mikrowellenfeld durchgeführt und die verbrauchte Energie mit Hilfe eines Messgerätes bestimmt.



Abb. 1: Energiemessgerät

Die Ergebnisse der Messungen erbrachten, dass bei Verwendung eines Heizpilzes nur 70% der bei der Reaktion mit einem Ölbad verbrauchten elektrischen Energie benötigt wird. Gar nur 20 % der bei der Verwendung eines Ölbad verbrauchten Energie wurde bei einer Reaktion im Mikrowellenfeld aufgewandt ([2] Diehlmann, 2002).

Was sind die Ursachen für die Unterschiede im Energieverbrauch

Bei der Untersuchung des Energieverbrauches der verschiedenen Methoden des Energieeintrages konnten mitunter deutliche Unterschiede festgestellt werden. Worin aber liegen diese Unterschiede begründet? Im Vergleich der klassischen Vorgehensweise (Heizpilz, Ölbad) mit der Mikrowellensynthese kann die kürzere Reaktionszeit eine Rolle spielen (Reaktionsdauer ca. 30 Minuten). Zwischen der Reaktionsführung mit Heizpilz und Ölbad als Energiequelle (Reaktionsdauer jeweils ca. 2 Stunden) lässt sich ein Zeitunterschied nicht feststellen. Die Unterschiede haben hier demnach andere Ursachen.

Die Versuchsanordnungen unter der Wärmebildkamera

Mit Hilfe der Thermographie (Abb. 2, Abb. 3) konnten die Unterschiede der zu vergleichenden Varianten aufgedeckt werden.

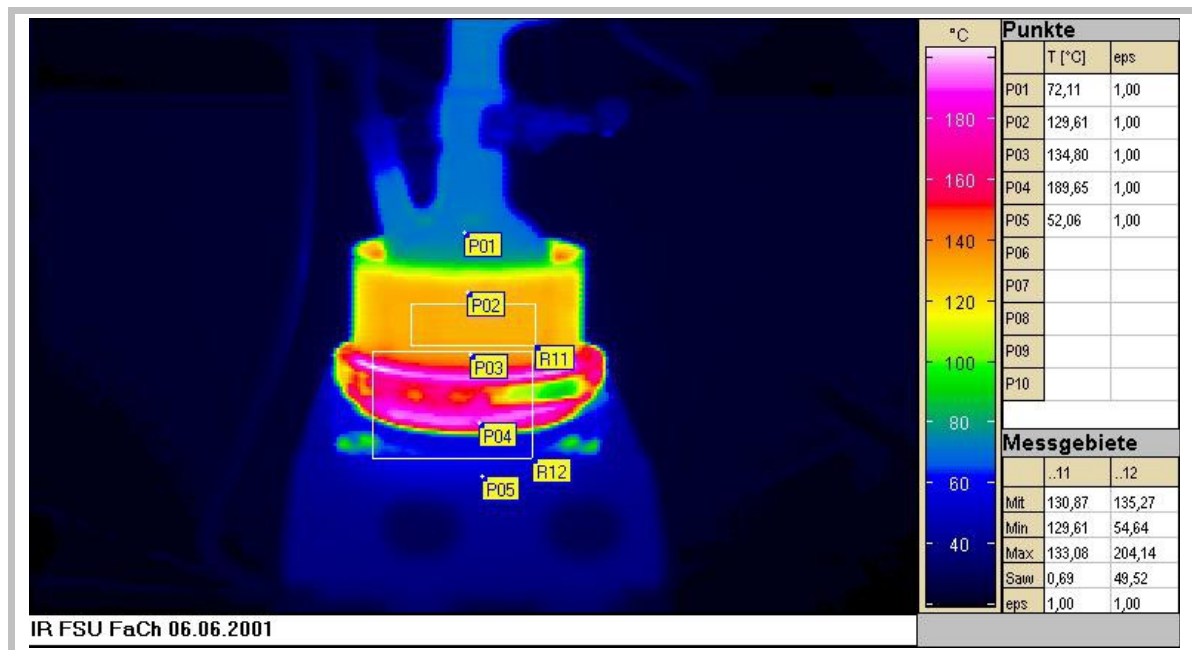


Abb. 2: Infrarotaufnahme – Apparatur Ölbad

Die Oberflächentemperatur der Versuchsanordnung erreicht am Heiztisch bis zu 190 °C. Die Oberfläche der Ölbadschale ist immerhin noch rund 130 °C warm. Im Vergleich dazu werden unter Verwendung eines Heizpilzes deutlich niedrigere Werte erreicht. So beträgt die maximal gemessene Oberflächentemperatur bei der Versuchsanordnung unter Verwendung eines Heizpilzes nur rund 50 °C und liegt damit deutlich unter der Temperatur der verglichenen Ölbadapparatur.

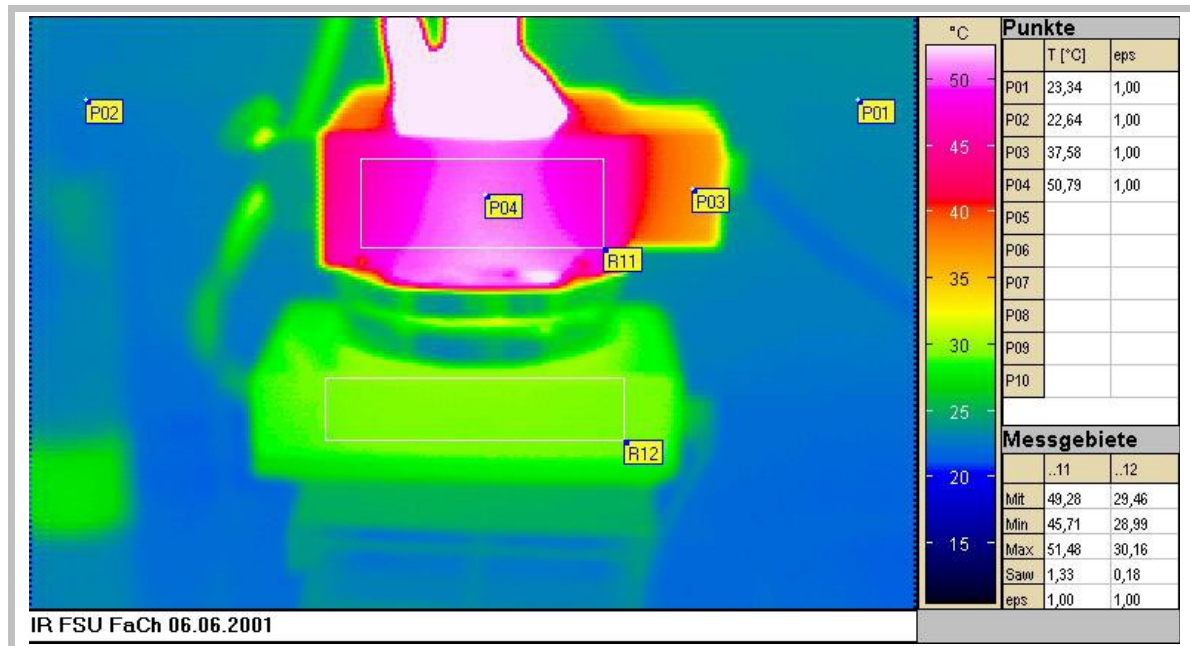


Abb. 3: Infrarotaufnahme – Apparatur Heizpflanz

Die Oberflächentemperatur hat Einfluss auf die Energieabgabe

Der Energieverlust eines Körpers an das ihn umgebende Medium findet überwiegend durch konvektive Prozesse statt. Wärmestrahlung spielt bei den untersuchten Reaktionen eine deutlich geringere Rolle. Nach der Gleichung für den Wärmeübergang nimmt die konvektiv abgegebene Energiemenge Q mit steigender Temperaturdifferenz zwischen Körper und umgebendem Medium zu.

$$Q_K = \alpha \cdot F \cdot (T_{\text{Körper}} - T_{\text{Umgebung}}) \cdot \Delta t$$

Q_k = vom Versuchsaufbau konvektiv abgegebene Energie

α = Wärmeübergangskoeffizient

F = Oberfläche des Versuchsaufbaus

$T_{\text{Körper}}$ = Oberflächentemperatur des Versuchsaufbaus

T_{Umgebung} = Temperatur des den Versuchsaufbau umgebenden Mediums

Δt = Zeit für den Wärmeübergang



Isolierung und Reaktionszeit geben den Ausschlag

Vor diesem Hintergrund ergibt sich, dass der Vorteil der „Mikrowellensynthese“ gegenüber den klassischen Reaktionsvarianten seine Ursache in der kürzeren Reaktionszeit hat. Die Energieverluste aufgrund von Konvektion fallen bei kürzeren Reaktionszeiten deutlich geringer aus. Die Unterschiede im Energieverbrauch zwischen Heizpilz und Ölbad lassen sich ebenfalls über die oben genannte Gleichung erklären. Aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen der Heizgeräteoberflächen werden verschieden große Mengen Energie an die Umgebung abgegeben. Um diese „Verlustenergie“ wieder zu ersetzen, muss dem Netz mehr elektrischer Energie entnommen werden. Aus den Messergebnissen der Infrarotaufnahmen wurden die Energieverluste der beiden Versuchsanordnungen näherungsweise bestimmt. Unter Verwendung eines Heizpilzes werden rund 50 %, bei der Verwendung eines Ölbadgar rund 85 % der aus dem Netz entnommenen Energie an die Umgebung abgegeben. Die Unterschiede im Energieverlust der beiden klassischen Versuchsanordnungen bzw. die unterschiedliche Temperatur der Oberfläche der Heizmedien lassen sich mit der besseren Isolation der verwendeten Heizhaube begründen.

Empfehlungen aufgrund der Ergebnisse

Allgemein:

In der Diskussion der Umweltauswirkungen einer Reaktion ist der Aspekt der Energiezufuhr bisher unterrepräsentiert. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass ein großer Teil der Umweltauswirkungen einer Synthese auf vorgelagerte Prozesse zurückzuführen ist. So stammt z.B. ein großer Teil der Gesamtumweltlasten aus der Erzeugung elektrischer Energie im Kraftwerk. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, dass künftig der Energieaspekt gleichberechtigt mit den verschiedenen Aspekten der Reaktion betrachtet wird. Für eine Reaktion reicht es nun nicht mehr aus, dass nur „die Chemie“ stimmt, sondern es müssen auch Fragen nach der Reaktionszeit (Kinetik), der Reaktionstemperatur oder der Wärmeisolierung gestellt werden.



Konkret:

Vor dem Hintergrund der Untersuchungsergebnisse lassen sich im konkreten Fall bestimmte Empfehlungen bezüglich der Geräteauswahl zur Durchführung chemischer Reaktionen im Labor geben. So ist bei der Geräteauswahl wenn möglich ein Heizpilz dem Einsatz von Heizbädern vorzuziehen. Der Wirkungsgrad von Heizpilz und Heizband ist ähnlich hoch wie der einer Heizplatte, der Wirkungsgrad der Wärmeübertragung vom Heizmedium auf die Reaktionsmischung ist jedoch aufgrund besserer Isolation und geringerer Oberfläche deutlich günstiger als die der Heizplatte mit Ölbad. Der Einsatz neuerer Methoden wie z.B. der Reaktion im Mikrowellenfeld kann sich ebenfalls günstig auf den Energieverbrauch von chemischen Reaktionen im Labormaßstab auswirken, allerdings muss dabei die Zeitersparnis im Vergleich zur Reaktion unter Verwendung klassischer Heizmedien deutlich sein. Der Wirkungsgrad der Mikrowelle beträgt zwar nur 50%, aber die abgegebene Leistung wird dann auch überwiegend ins Reaktionsmedium eingetragen.

Auch eine Isolierung der Versuchsanordnung wirkt sich sehr günstig auf den Energieverbrauch aus.

Zu beachten ist, dass die gegebenen Empfehlungen nur gelten, wenn weder Sicherheitsaspekte, noch Gründe der praktischen Durchführbarkeit dagegen sprechen.

Literatur

- [1] Beck, A., Schering, M. und Hungerbühler, K. (2000). Fate modelling within LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(2000), 1-10.
- [2] Diehlmann, A. (2002). *Beitrag zur Implementierung des Leitbildes "Nachhaltige Entwicklung" in der Chemieausbildung*. Dissertation. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Technische Chemie und Umweltchemie.