

## Grundlagen einiger laserdiagnostischer Verfahren für die Verbrennung

ROBERT SCHIESSL | ULRICH MAAS

Dieses Dokument ist eine Ergänzung zum Artikel „Die Verbrennung“ in **Physik in unserer Zeit**, 44. Jahrgang 2013, Nr. 1, S. 12.

Das Schema der laserinduzierten Fluoreszenz in Abbildung 1 zeigt die verschiedenen Energieniveaus eines Moleküls, Rotations- und Schwingungsniveaus in verschiedenen elektronischen Zuständen. Diese werden zunächst im thermischen Gleichgewicht nach einer Boltzmann-Verteilung besetzt. Bei der Absorption eines Photons muss die Photonenergie  $hf$  ( $h$  Plancksche Konstante,  $f$  Frequenz der einfallenden Lichtwelle) zwischen zwei solcher Energieniveaus des Moleküls „passen“. Dadurch wird das System in ein thermisches Nichtgleichgewicht gebracht.

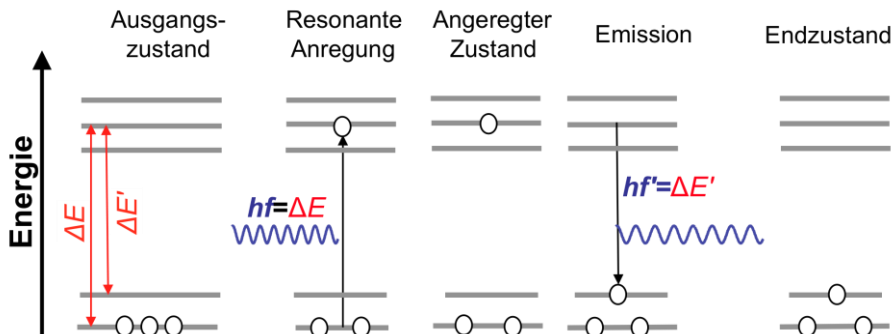
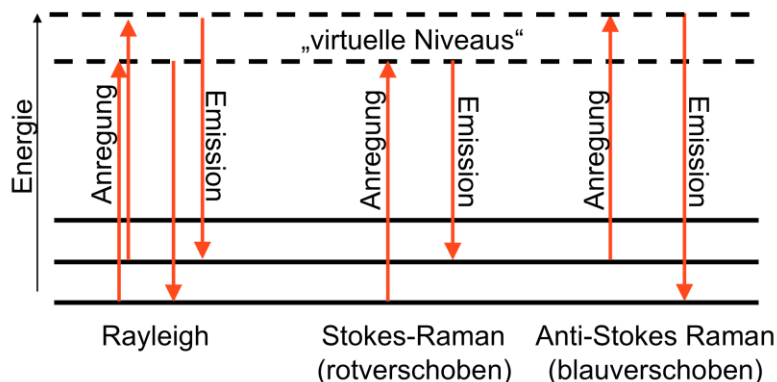


Abb. 1 Laserinduzierte Fluoreszenz.

Es kann nun eine spontane Photonenemission folgen, also Fluoreszenz, wobei auch Übergänge zwischen anderen Energieniveaus als bei der Anregung möglich sind. Das Fluoreszenzlicht kann dann spektral vom Anregungslicht separiert werden, wodurch Messungen auch in Situationen mit starkem Streulichthintergrund möglich werden.

Die Lebensdauer des angeregten Zustands ist groß gegen die mittlere Dauer zwischen Stößen des Moleküls. Daher kann es zur Stoßlöschung (Quenching) als Konkurrenzprozess zur Fluoreszenz kommen. Dabei gibt das Molekül die absorbierte Energie ganz oder teilweise durch Stöße an andere Moleküle ab und geht so strahlungslos auf ein niedrigeres Niveau über. Die quantitative Interpretation der laserinduzierten Fluoreszenzsignale in Verbrennungsprozessen wird dadurch erheblich erschwert.



**Abb. 2** Rayleigh- und Raman-Streuung.

Abbildung 2 zeigt ein einfaches Bild der Raman- und Rayleigh-Streuung. Sie beginnt mit einer Anregung auf „virtuelle“ Niveaus, wobei das einfallende Photon beliebig Energie haben darf. Bei der Rayleigh-Streuung folgt die Emission eines Photons derselben Frequenz. Bei der Raman-Streuung emittieren die Moleküle Photonen, deren Frequenz verschoben ist: Ihre Differenz entspricht der Anregung oder Abregung des Schwingungsniveaus im Molekül. Bei Stokes-Raman ist die Folge eine Rotverschiebung, bei Anti-Stokes-Raman eine Blauverschiebung.

In einem Gasgemisch kann man verschiedene Moleküle mit Raman-Streuung anhand ihrer verschiedenen Schwingungsfrequenzen identifizieren. Der Prozess ist kürzer als die Zeit zwischen zwei Stößen des Moleküls, daher gibt es keine Stoßlöschung und die quantitative Interpretation von Raman-Spektren ist verhältnismäßig einfach. Die „Ausbeute“ an Signalphotonen ist unter Verbrennungsbedingungen leider um viele Größenordnungen geringer als jene, die bei der Laserinduzierten Fluoreszenz erreicht werden kann.