SCHÜLERLABOR FÜR SPEKTROSKOPIE UND UMWELTPHYSIK DER ATMOSPHÄRE

FAKULTÄT FÜR PHYSIK UND ASTRONOMIE

Wilhelm und Else Heraeus Stiftung

Internationale Gesamtschule Heidelberg

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

Das Schülerlabor *Spektroskopie und Umweltphysik der Atmosphäre* gibt Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, eigene Erfahrungen beim selbständigen Experimentieren und Forschen mit Instrumenten zu machen, die normalerweise nicht in der Schule, sondern lediglich in Forschungslaboratorien der Universitäten verfügbar sind. Ihnen, liebe Kolleginnen und Kollegen, bietet es die Möglichkeit, Ihren Schüler/-innen entweder eine spannende Lernerfahrung zu bieten, die über den normalen Schulstoff hinaus geht, oder auch in einem motivierenden, außerschulischen Kontext den in den Curricula vorgegebenen Lernstoff zu festigen und zu vertiefen. Wir hoffen, auf diese Weise nicht nur zu einer hohen Qualität des Angebots, dass Sie Ihren Schüler/-innen im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts machen können, sondern gleichzeitig auch zu Ihrer Entlastung beizutragen – insbesondere bei einer regelmäßigen Zusammenarbeit.

Das Schülerlabor befindet sich an der *Internationalen Gesamtschule Heidelberg (IGH)*. Es ist in Kooperation mit der *Fakultät für Physik und Astronomie der Universität Heidelberg* entstanden und wurde größtenteils durch die *Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung* finanziert.

Das Thema des Labors verbindet einen Forschungsschwerpunkt der physikalischen Fakultät der Universität Heidelberg, die Umweltphysik, mit einem Profilschwerpunkt der IGH, Umweltschutz und Nachhaltigkeit. Erfahrungsgemäß ist das Thema Licht, das über die Spektroskopie aufgegriffen wird, für Schüler/-innen besonders motivierend. Sie erfahren zunächst anhand der Untersuchungen aus dem Alltag bekannter Lichtquellen, wie moderne Spektroskopie funktioniert. Anschließend können die Jugendlichen unter anderem lernen, wie diese Methode für die Untersuchung der Atmosphäre genutzt werden kann, welche Bedeutung der Wärmestrahlung zukommt (Treibhauseffekt, Suche nach Wärmelecks mit einer Wärmebildkamera) oder wie das an der Erdoberfläche gemessene Spektrum der Sonne zustande kommt.

Das Schülerlabor an der IGH setzt sich aus drei Experimentgruppen zusammen, die jeweils in doppelter Ausfertigung vorliegen. Jede Experimentgruppe ist mit einem PC kombiniert. Weitere Rechner stehen zur Verfügung, an denen in kleinen Gruppen Versuche ausgewertet werden können. Die auf insgesamt sechs Rollwagen installierten Experimentgruppen lassen sich in vielfältiger Weise kombinieren, so dass ohne viel Aufwand kurzfristig ein individuell auf die Bedürfnisse Ihrer Schüler/-innen zugeschnittenes Programm entworfen werden kann.

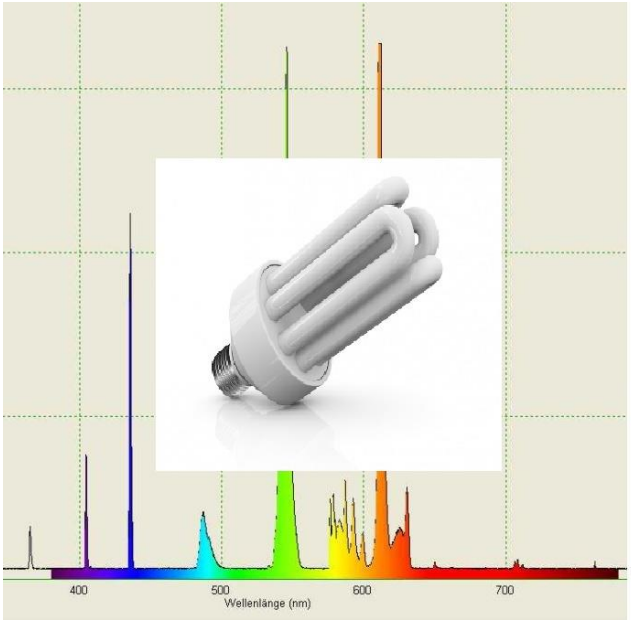
Im nächsten Abschnitt werden vier Themenmodule vorgestellt, die sich für einen vierstündigen Besuch bisher bewährt haben. Abschließend folgen organisatorische Informationen zu Kontakt und Anmeldung.

In einem Anhang werden für diejenigen von Ihnen, die einen Besuch bei uns näher in Betracht ziehen, die drei physisch auf Rollwagen installierten Experimentgruppen anhand von Fotos beschrieben. Auf diese Weise können Sie sich eine genauere Vorstellung machen und gegebenenfalls Wünsche bezüglich einer individuelle Anpassung des Programms präzisieren.

BEISPIELE FÜR THEMENMODULE

Das Programm kann für Ihren Besuch nach Absprache im Vorfeld individuell angepasst werden, oder Sie übernehmen einfach einen der folgenden Vorschläge:

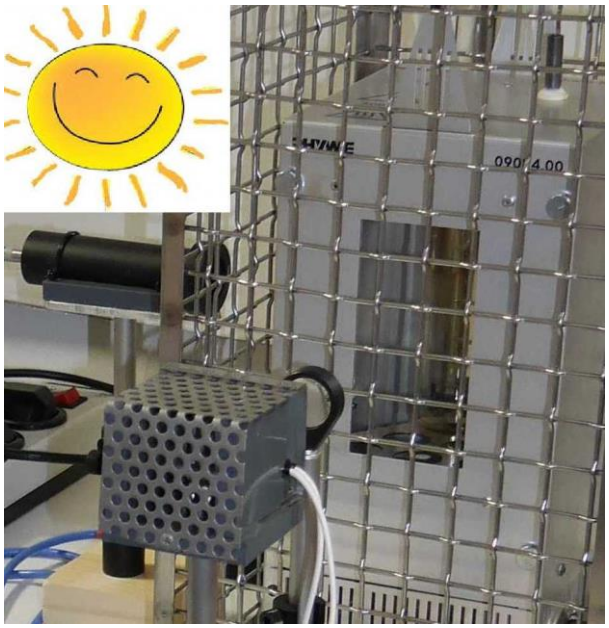
1. Grundlagen der Spektroskopie, Untersuchung verschiedener Lichtquellen



Die Schülerinnen und Schüler lernen zunächst die Funktion eines optischen Prismenspektrometers und eines optischen Gitterspektrometers kennen bzw. wiederholen diese. Spektral zerlegtes weißes Licht wird auf einen Bildschirm projiziert. Als nächstes lernen die Jugendlichen, dass Spektren auch mit Hilfe eines USB-Spektrometers auf einem PC-Bildschirm sichtbar gemacht und mit Hilfe geeigneter Software analysiert werden können. Schließlich werden verschiedene Lichtquellen untersucht: Laser als monochromatische Lichtquelle, atomares Linienspektrum (H-Lampe, Hg-Lampe), Energiesparlampe, Halogenlampe, klassische Glühlampe, LED. Hierbei können am PC beobachtete Spektren mit vorgegebenen Atomspektren abgeglichen werden; so wird den Jugendlichen demonstriert, wie zum Beispiel aus dem von Fixsternen emittierten Licht auf deren Zusammensetzung geschlossen werden kann. Optional kann schließlich noch gezeigt werden, wie mit Hilfe von Funkenentladungen und einer Spektralanalyse des dabei entstehenden Lichts die Zusammensetzung von Metallen analysiert werden kann.

Zielgruppe für dieses Modul sind zum einen Schüler/-innen der Kursstufe vor dem schriftlichen Abitur: In spielerischer und experimentell ansprechender Weise wird im Rahmen dieses Einblicks in die Spektroskopie abiturrelevanter Stoff wiederholt, gefestigt, veranschaulicht und vertieft. Zum anderen ist es auch für Mittelstufenklassen geeignet: Hier würden die Schüler/-innen vor der PC-gestützten Spektroskopie lediglich mit dem optischen Prismenspektrometer experimentieren.

2. Absorption und Emission von sichtbarem Licht, Sonnenspektrum



Zunächst wird das Spektrum des verwendeten Halogenstrahlers über ein optisches Gitterspektrometer auf einem Bildschirm, dann über ein USB-Spektrometer am PC sichtbar gemacht. Dann lernen die Schüler/-innen anhand von Natriumdampf die Absorption von Licht am Beispiel der charakteristischen gelben Natriumlinie kennen (Franck-Hertz-Ofen mit Natriumkolben). Das Teleskop wird dann in 90°-Position gebracht (relativ zum von der Quelle ausgehenden Licht), um das vom Natrium emittierte Licht zu untersuchen (Fluoreszenz).

Nun wird das Teleskop durch ein Fenster auf den Himmel gerichtet, um das von der Sonne ausgehende Licht zu untersuchen. Die Schüler/-innen entdecken markante Intensitätsminima im Sonnenspektrum und stellen den Zusammenhang zu den vorhergehenden Experimenten her. Mit Hilfe einer geeigneten Software finden die Jugendlichen einige wichtige Fraunhofer-Linien und verstehen ihren Ursprung.

Zum Abschluss kann bei einer leistungsstarken Gruppe noch das Prinzip der *Differenziellen Optischen Absorptionsspektroskopie* demonstriert werden (geeigneter Versuchsteil aus Modul 3).

Dieses Modul richtet sich vornehmlich an Schüler/-innen der Kursstufe. Denkbar wäre zusätzlich auch ein Einsatz in den Klassen 9 oder 10, zum Beispiel im Rahmen einer NwT-Einheit zur Umweltphysik.

3. Optischer Nachweis von Spurenstoffen in der Atmosphäre

Zunächst lernen die Schülerinnen und Schüler am Beispiel der Absorption von Licht durch ein in einer Küvette befindliches Gas das Grundprinzip der *Differenziellen Optischen Absorptions-spektroskopie* (DOAS) kennen: Es wird gezeigt, wie mit Hilfe des Lambert-Beer-Gesetzes eine quantitative Aussage über die Konzentration des Gases in der Küvette möglich ist.
Diskutiert wird weiterhin, dass bei unbekannter effektiver Weglänge des Lichts im absorbierenden Gas lediglich das Produkt aus Konzentration und effektiver Weglänge, genannt *Säulenhöhe*, bestimmt werden kann.

Dann wird die Säulenhöhe des stratosphärischen Ozons bestimmt. Dazu wird über eine Haltevorrichtung an einem Fenster um die Mittagszeit eine Messung mit vertikaler Ausrichtung des Teleskops durchgeführt. Das so ermittelte "Mittagsspektrum" (kurzer Weg des Sonnenlichts durch die Stratosphäre, hier und in der Folge Wellenlängenbereich 290 – 460 nm) wird verglichen mit einem (gegebenenfalls schon vorher gemessenen) morgens oder abends ermittelten Spektrum (langer Weg des Sonnenlichts durch die Stratosphäre). Da bei langem Weg mehr Licht durch Ozon absorbiert wird als bei kurzem, kann aus dem Unterschied zwischen den beiden Spektren über eine Fitprozedur auf die Ozon-Säulenhöhe in der Stratosphäre geschlossen werden.

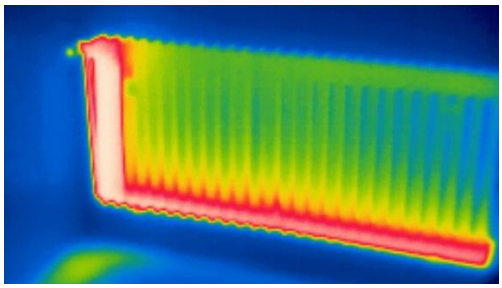
Schließlich kann die Konzentration von bodennahem NO_2 bestimmt werden: Dazu werden direkt hintereinander zwei Messungen durchgeführt. Einmal wird das Spektrum des Streulichts in vertikaler Richtung ermittelt (kurzer Weg), einmal unter flachem Winkel (langer Weg; Peilung aufgrund der dort zu erwartenden erhöhten NO_2-Emissionen in Richtung Autobahn). Die Messungen werden – wie schon vorher – von den Schüler/-innen paarweise an gegebenenfalls zusätzlich zur Verfügung gestellten Rechnern ausgewertet.

Dieses Themenmodul ist das anspruchsvollste und richtet sich daher vornehmlich an (vierstündige) Physikkurse nach der schriftlichen Abiturprüfung. Außerdem eignet es sich sehr gut für einen Einsatz im Rahmen der Ausbildung von Referendar/-innen.

4. Absorption und Emission von Wärmestrahlung, Wärmebildkamera

Zunächst lernen die Schüler/-innen das Funktionsprinzip einer Thermosäule kennen, indem sie damit die Leistung eines Infrarotstrahlers messen. Auch die automatisierte Datenaufnahme über Digitalmultimeter und PC wird thematisiert (Strahlungsleistung als Funktion der Zeit). Dann untersuchen die Schüler/-innen die Absorption von Wärmestrahlung durch CO_2: Dieses befindet sich in einem Plexiglasrohr mit zwei IR-durchlässigen Fenstern aus Polyethylen und einem Temperatursensor. Sobald die vorher im Plexiglasrohr befindliche Luft durch CO_2 ersetzt wird, erkennen die Schüler/-innen auf dem PC-Bildschirm einen Rückgang der Strahlungsleistung. Gleichzeitig ist dort zu sehen, dass die Temperatur im Plexiglasrohr ansteigt. Die Bedeutung von CO_2 für den anthropogenen Treibhauseffekt wird thematisiert.

Für ältere bzw. an der Theorie besonders interessierte Gruppen kann nun noch die Proportionalität der Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers zur vierten Potenz der Temperatur in einer Live-Messung demonstriert werden. Dazu wird die Temperatur der geschwärzten Messingplatte, die als Modell für einen schwarzen Strahler fungiert, über einen Pt100-Widerstand und ein Digitalmultimeter gemessen. Die Strahlungsleistung wird – wie schon vorher – mit Hilfe der Thermosäule und einem weiteren Digitalmultimeter ermittelt. Die Darstellung der automatisierten Messung auf dem PC-Bildschirm wird in beiden Versuchsteilen über ein Profilab-Expert-4.0-Programm realisiert.



Als praktische Anwendung zum Thema Wärmestrahlung lernen die Jugendlichen nun das Funktionsprinzip einer Wärmebildkamera kennen. Sie können dann im Raum (und eventuell im Schulgebäude) auf Entdeckungsreise gehen und verschiedene Phänomene untersuchen (Wärmelecks, Stromverbraucher, Aufspüren von Orten, an denen sich vorher Menschen aufgehalten haben, u.a.m.).

Dieses Themenmodul richtet sich vornehmlich an Schüler/-innen der Mittelstufe.

ORGANISATION

Kosten: In diesem Schuljahr (2019/20) ist das Schülerlabor an der IGH noch kostenlos.

Kontakt: Dr. Roland Maier
Internationale Gesamtschule
Baden-Badener Str. 14
69126 Heidelberg
06221-310-175
maier@igh-hd.de

Anmeldung: Per E-Mail

Dauer eines Besuchs: 4 Stunden (inklusive 20 min Pause)

Bitte mitbringen: Schreibzeug, Verpflegung für die Pause bzw. Geld für Pausensnacks in der IGH-Cafeteria, USB-Sticks zum Abspeichern von Versuchsergebnissen

Gruppengröße: Bis 16 Personen ideal, bis 20 Personen aber möglich

Termine: Im Schuljahr 2019/20:

- montags 9^{00} - 13^{00}
- mittwochs 13^{30} - 17^{30}
- donnerstags 9^{00} – 13^{00} oder 13^{00} – 17^{00}

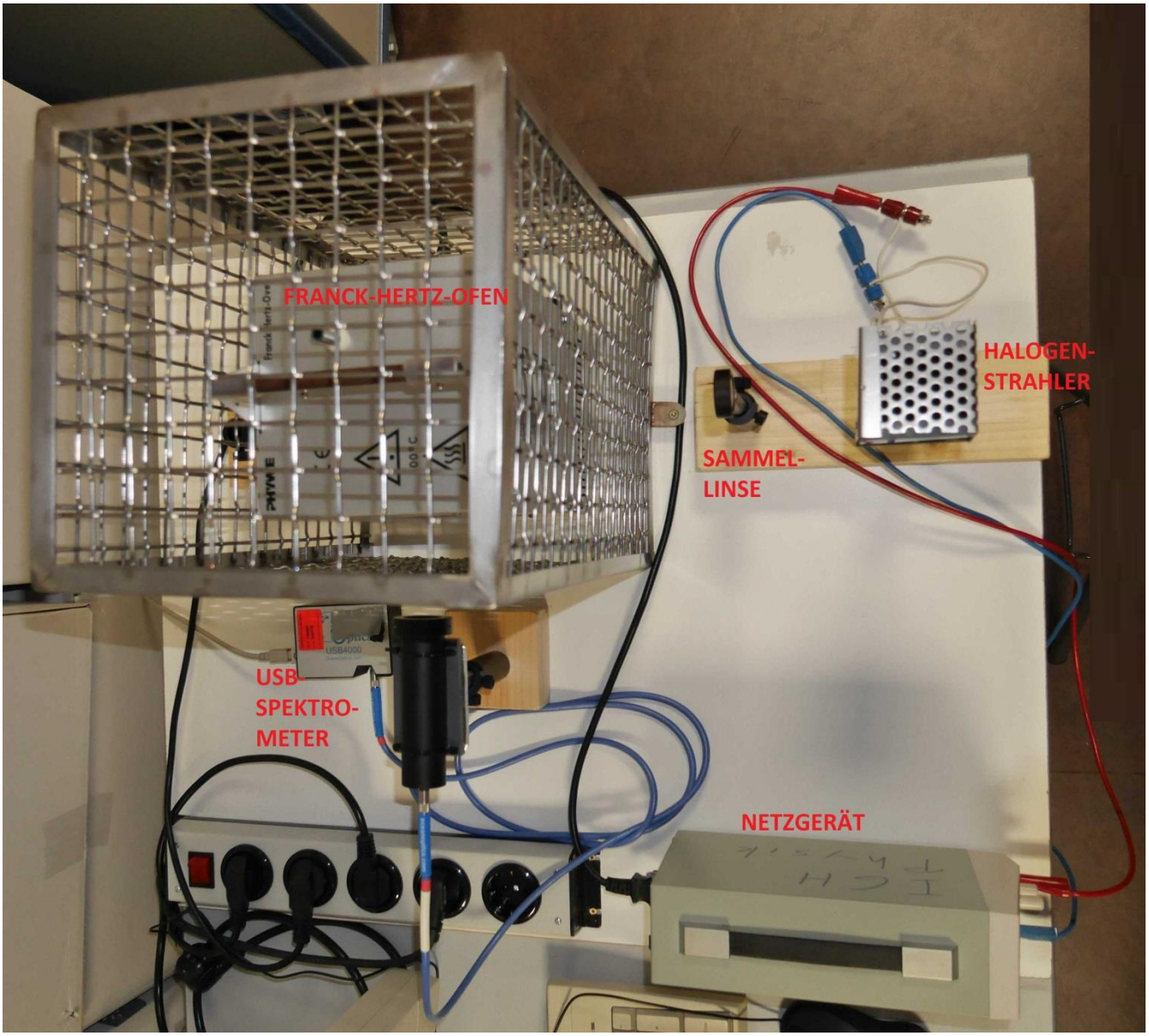
Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

Roland Maier

ANHANG: **DIE DREI EXPERIMENTGRUPPEN**

Jede der hier gezeigten Experimentgruppen ist kombiniert mit einem PC (auf den Abbildungen nicht gezeigt). Weiterhin stehen ein Farbdrucker, sowie weitere Rechner für Auswertungen in kleinen Gruppen zur Verfügung.

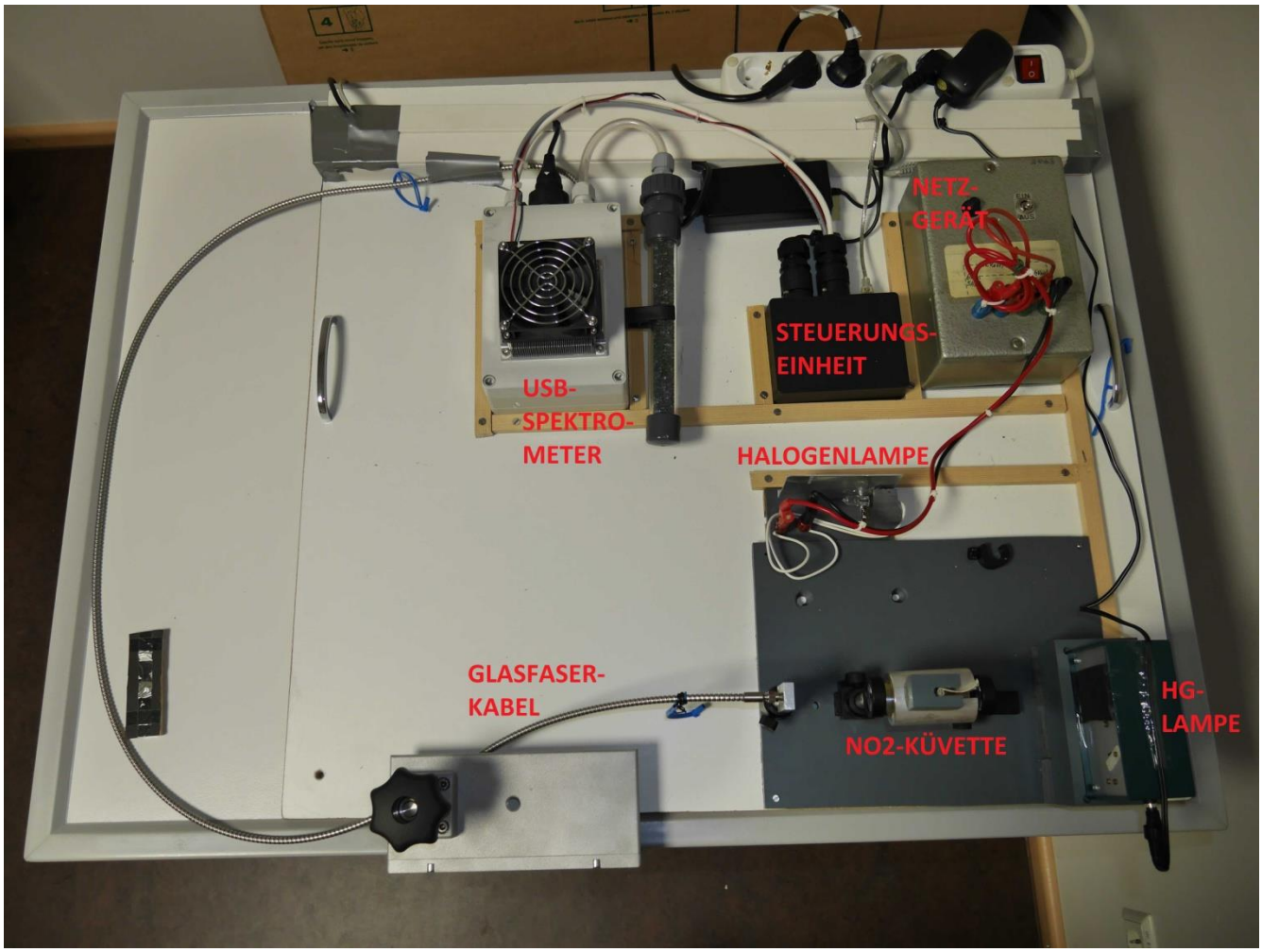
A. Absorption und Emission von sichtbarem Licht



Hier wird Licht auf einen Franck-Hertz-Ofen gerichtet, in dem beim Erhitzen Natrium verdampft. Ein Teleskop (schwarzes „Rohr“) bündelt das Licht, das den Ofen verlässt, in ein Glasfaserkabel, welches das Licht in ein USB-Spektrometer leitet. Zur Untersuchung der Absorption (→ charakteristische, gelbe Natriumlinie) wird das Teleskop gegenüber der Lichtquelle positioniert, zur Untersuchung der Emission (Fluoreszenz) in 90° - Position (hier abgebildet). Das Spektrometer kann ebenfalls für die einführende Untersuchung verschiedener Lichtquellen, sowie die Analyse des Sonnenspektrums verwendet werden.

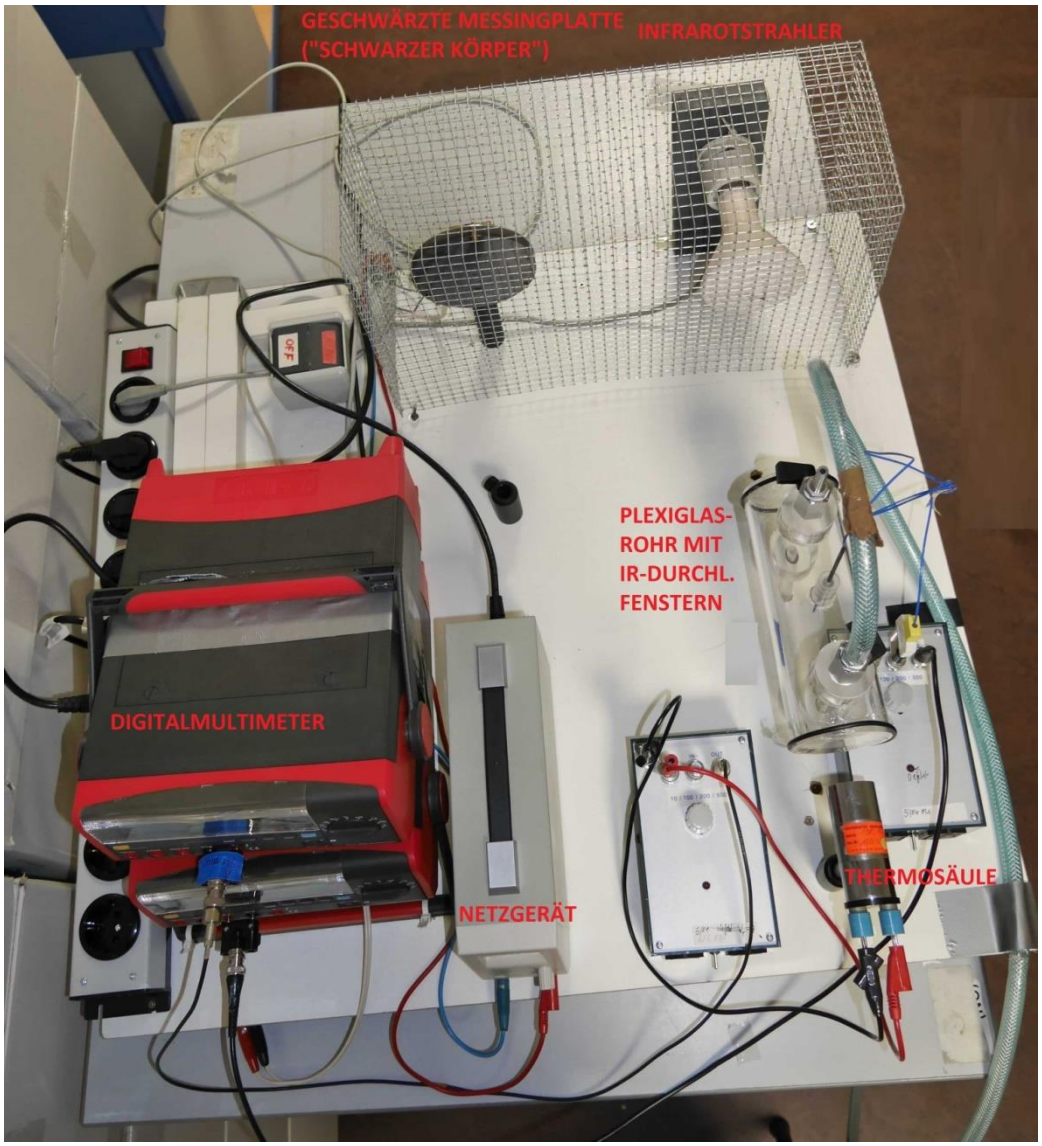
Ergänzt wird diese (und die folgende) Experimentgruppe durch jeweils ein konventionelles Prismen- und ein Gitterspektrometer (→ Spektrum auf Bildschirm), eine Wasserstofflampe (→ Balmer-Linien) u.a.m.

B. Optischer Nachweis von Spurenstoffen in der Atmosphäre



Im abgebildeten Teilversuch wird Licht wiederum in ein USB-Spektrometer geleitet, diesmal aber durch eine Glasküvette. Damit wird gezeigt, wie aus dem Unterschied zwischen den Spektren, die sich bei einer leeren und einer mit NO_2 gefüllten Küvette ergeben, auf das in der Küvette befindliche Gas und seine Konzentration rückgeschlossen werden kann. Das bei der Küvette befindliche Glasfaserkabel kann anschließend mit einem Teleskop an eine Peilvorrichtung angeschlossen werden, die an einem Fensterrahmen arretierbar ist und somit die Untersuchung von Sonnenlicht bzw. den Nachweis von Stoffen in der Atmosphäre ermöglicht.

C. Absorption und Emission von Wärmestrahlung, Wärmebildkamera



Die hier gezeigte Messvorrichtung ermöglicht die Messung der Wärmestrahlungsleistung mit Hilfe einer Thermosäule. Eines der beiden Digitalmultimeter nimmt das Signal auf und ermöglicht auf dem PC die graphische Darstellung der Strahlungsleistung als Funktion der Zeit.
Im gezeigten Aufbau wird Infrarotstrahlung durch ein Plexiglasrohr geschickt, das über den Schlauch mit CO_2 gefüllt werden kann. Gleichzeitig wird die Temperatur im Plexiglasrohr gemessen und über das zweite Digitalmultimeter ebenfalls als Funktion der Zeit am PC dargestellt. Damit kann gezeigt werden, dass CO_2 Infrarotstrahlung absorbiert und dass dies gleichzeitig zu einer Temperaturerhöhung führt.
Alternativ kann die Thermosäule auch direkt vor der geschwärzten Messingplatte angebracht werden. Statt der Temperatur im Plexiglasrohr wird nun über das zweite Digitalmultimeter die Temperatur der geschwärzten Messingplatte, die als Modell für einen schwarzen Körper fungiert, in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Letztendlich wird am PC die Strahlungsleistung in Abhängigkeit von verschiedenen Potenzen der Temperatur abgebildet. Auf diese Weise kann die Proportionalität der Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers zur vierten Potenz der Temperatur in einer Live-Messung demonstriert werden.
Ergänzt wird diese Experimentgruppe durch eine Wärmebildkamera.