

## **Beantragung von Mitteln für das Schülerlabor *Spektroskopie und Umweltphysik* an der Internationalen Gesamtschule Heidelberg bei der Heraeus-Stiftung**

Geplant sind vier verschiedene Experimentgruppen (vgl. auch Fotos im Anhang):

### **A. Grundlagen der Spektroskopie, Untersuchung verschiedener Lichtquellen**

Bei dieser Experimentgruppe lernen die S<sup>1</sup> zunächst die Funktion eines optischen Prismenspektrometers und eines optischen Gitterspektrometers kennen. Spektral zerlegtes weißes Licht wird auf einen auf dem Experimentiertisch befindlichen Bildschirm projiziert. Als nächstes lernen die S, dass Spektren auch mit Hilfe eines USB-Spektrometers auf einem PC-Bildschirm sichtbar gemacht und mit Hilfe geeigneter Software (*Ouverture*) 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 mit Hilfe von *Overture* beobachtete Spektren mit vorgegebenen Atomspektren abgeglichen werden; so kann den S demonstriert werden, wie z.B. aus dem von Fixsternen emittierten Licht auf deren Zusammensetzung geschlossen werden kann. Optional kann schließlich noch demonstriert werden, wie mit Hilfe von Funkenentladungen und einer Spektralanalyse des dabei entstehenden Lichts die Zusammensetzung von Metallen analysiert werden kann.

Zielgruppe für diese Experimentgruppe sind zum einen S 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 diese Experimentgruppe auch für Mittelstufenklassen geeignet. Hier würden die S vor der USB-Spektroskopie lediglich mit dem optischen Prismenspektrometer experimentieren.

### **B. Optischer Nachweis von Spurenstoffen in der Atmosphäre**

Bei dieser Experimentgruppe lernen die S zunächst am Beispiel der Absorption von Licht durch ein in einer Küvette befindliches Gas das Grundprinzip der *Differenziellen Optischen Absorptionsspektroskopie* (DOAS) kennen. Es wird gezeigt, wie mit Hilfe des Lambert-Beer-Gesetzes eine quantitative Aussage über die Konzentration des Gases in der Küvette bekannter Länge möglich ist. Diskutiert wird weiterhin, dass bei unbekannter effektiver Weglänge  $L$  des Lichts im absorbierenden Gas lediglich die Säulenhöhe (das Produkt aus Konzentration und  $L$ ) 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 auf diese Weise über einen

---

<sup>1</sup> Verwendete Abkürzungen: S = Schülerinnen und Schüler; L = Lehrkraft/Lehrkräfte

Fit der optischen Dichte an den bekannten Ozonwirkungsquerschnitt ein Wert für die Ozon-Säulenhöhe gewonnen werden. Diese Prozedur wird mit Hilfe der Software *DOASIS* von S paarweise an Laptops durchgeführt.

Schließlich wird die Konzentration von bodennahem  $\text{NO}_2$  bestimmt. 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  $\text{NO}_2$ -Emissionen in Richtung Autobahn). Die Messungen werden – wie schon vorher – mit Hilfe der Software *DOASIS* von den S paarweise an Laptops ausgewertet. Da hier  $L = 1,5 \text{ km}$  ansetzbar ist (mittlere freie Weglänge für Photonen vor der nächsten Streuung), kann bei diesem Versuch ein Konzentrationswert ermittelt und mit Referenzwerten verglichen werden. Gefittet wird in diesem Fall wiederum die aus den beiden Messungen ermittelte optische Dichte, diesmal an den bekannten  $\text{NO}_2$ -Wirkungsquerschnitt. Erschwerend kommt bei dieser Auswertung hinzu, dass eine Ringkorrektur notwendig ist, um die Verbreiterung der Fraunhofer-Linien bei längerem Weg durch die bodennahe Schicht auszugleichen.

Diese Experimentgruppe ist die anspruchsvollste und richtet sich daher vornehmlich an (vierstündige) Physikkurse nach der schriftlichen Abiturprüfung. Außerdem eignet sie sich sehr gut für einen Einsatz im Rahmen der Ausbildung von Referendarinnen und Referendaren.

### **C. Absorption und Emission von sichtbarem Licht, Sonnenspektrum**

Bei dieser Experimentgruppe wird zunächst das Spektrum des verwendeten Halogenstrahlers über ein optisches Gitterspektrometer auf einem Bildschirm, dann über ein USB-Spektrometer am PC sichtbar gemacht. Dann lernen die S anhand von verdampfendem Natrium die Absorption von Licht am Beispiel der charakteristischen gelben Natriumlinie kennen (Franck-Hertz-Ofen mit Natriumkolben). Das Teleskop wird dann in  $90^\circ$ -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 S entdecken markante Intensitätsminima im Sonnenspektrum und stellen den Zusammenhang zu den vorhergehenden Experimenten her. Mit Hilfe der Software *Overture* und/oder Tabellen finden die S 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 Experimentgruppe 2).

Diese Experimentgruppe richtet sich vornehmlich an S der Kursstufe. Denkbar wäre zusätzlich auch ein Einsatz in den Klassen 9 oder 10, z.B. im Rahmen einer NwT-Einheit zur Umweltphysik.

## **D. Absorption und Emission von Wärmestrahlung, Wärmebildkamera**

Bei dieser Experimentgruppe lernen die S zunächst 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 S die Absorption von Wärmestrahlung durch CO<sub>2</sub>: 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<sub>2</sub> ersetzt wird (aus einem Mineralwassersprudler), erkennen die S auf dem PC-Bildschirm einen Rückgang der Strahlungsleistung. Gleichzeitig ist dort zu sehen, dass die Temperatur im Plexiglasrohr ansteigt. Die Bedeutung von CO<sub>2</sub> 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.

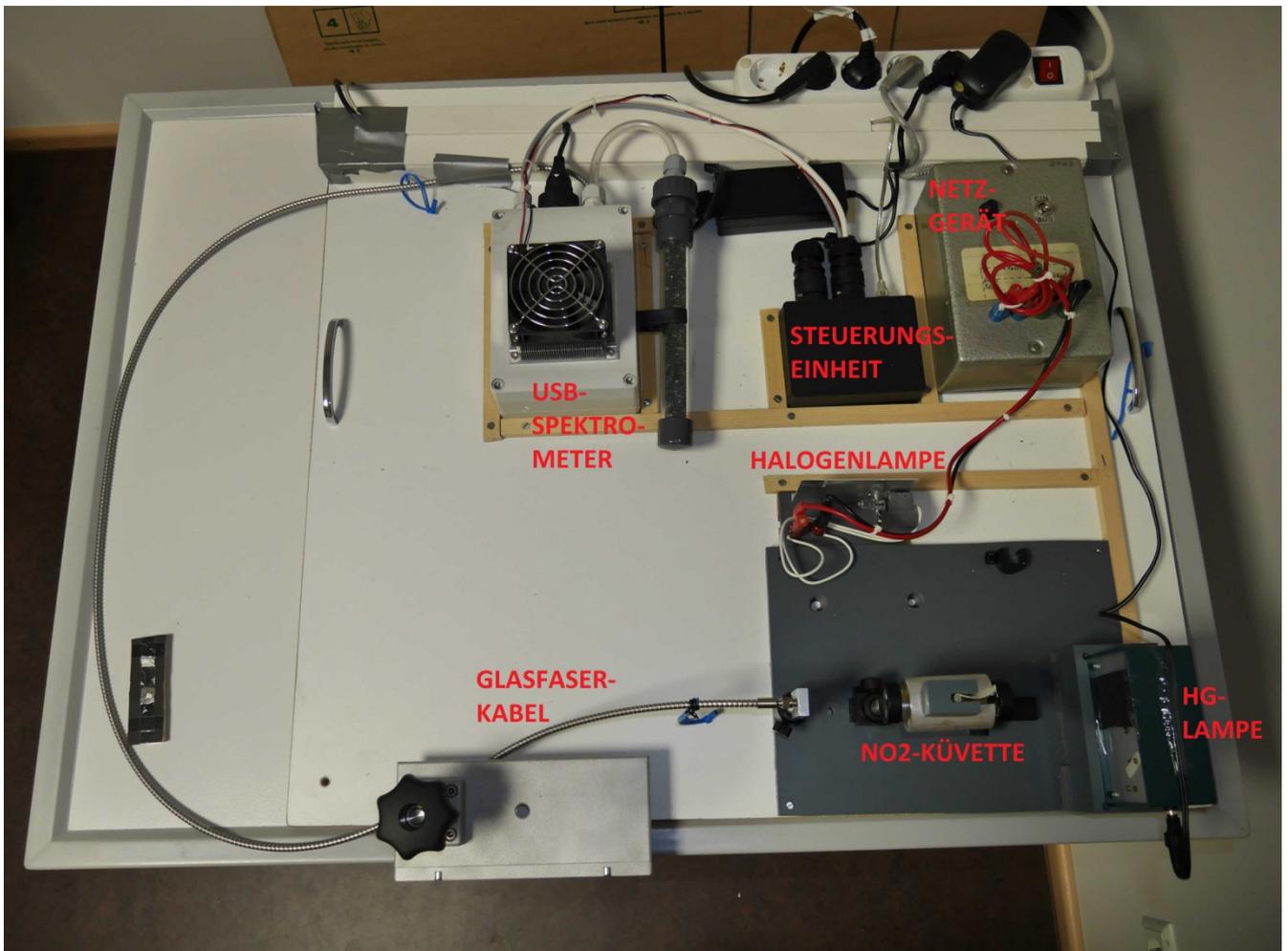
Als praktische Anwendung zum Thema Wärmestrahlung lernen die S nun das Funktionsprinzip einer Wärmebildkamera kennen. Die S können dann im Raum (und eventuell im Schulgebäude) auf Entdeckungsreise gehen und verschiedene Phänomene untersuchen (Wärmelecks, Stromverbraucher, Aufspüren von Orten, an denen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

Diese Experimentgruppe richtet sich vornehmlich an S der Mittelstufe.

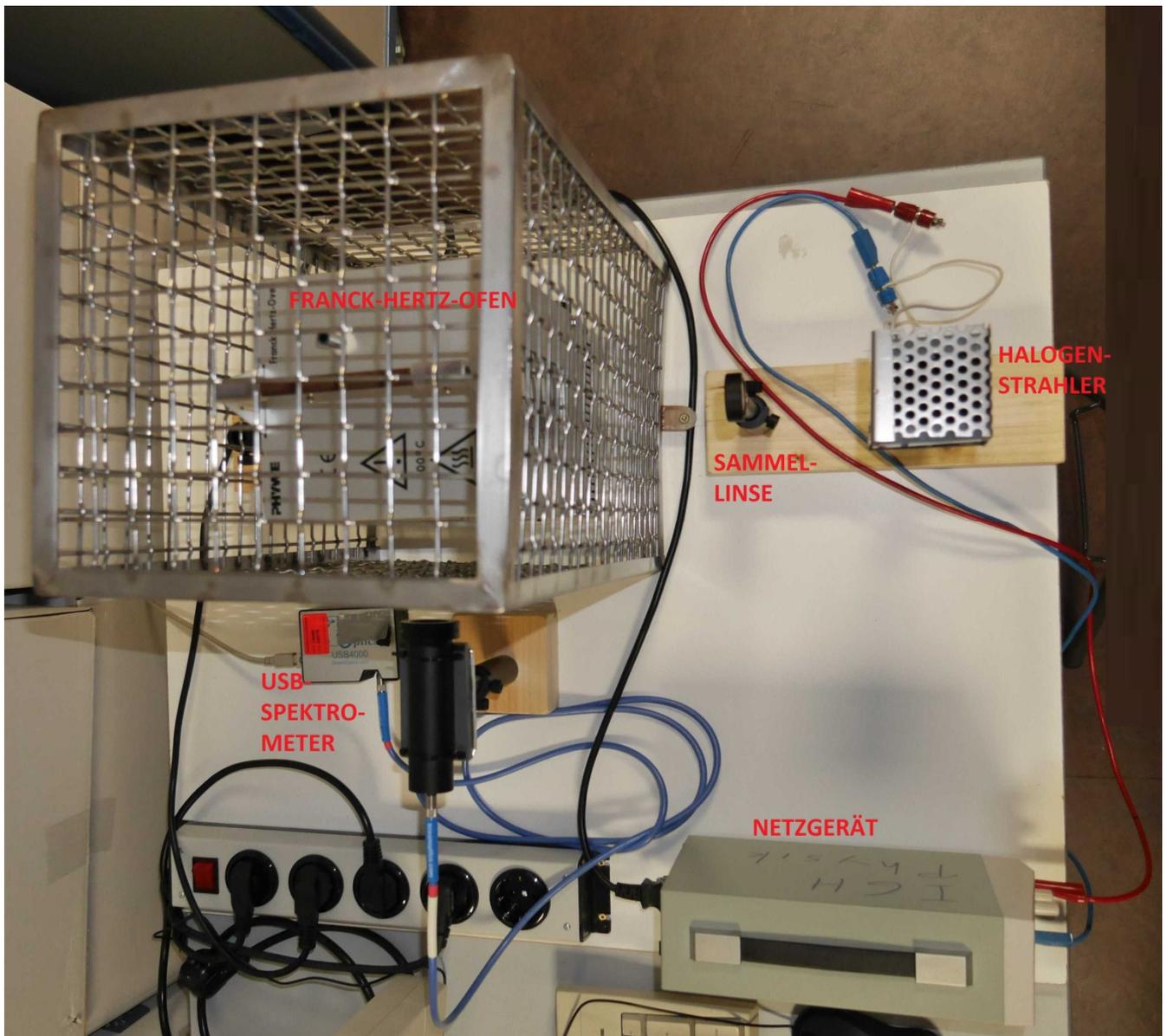
Eine ausführliche Beschreibung der Versuche zu B., C., und D. finden Sie unter [www.physi.uni-heidelberg.de/~eisele/schuelerlabor/](http://www.physi.uni-heidelberg.de/~eisele/schuelerlabor/).

## Anhang: Bilder der Versuchsaufbauten

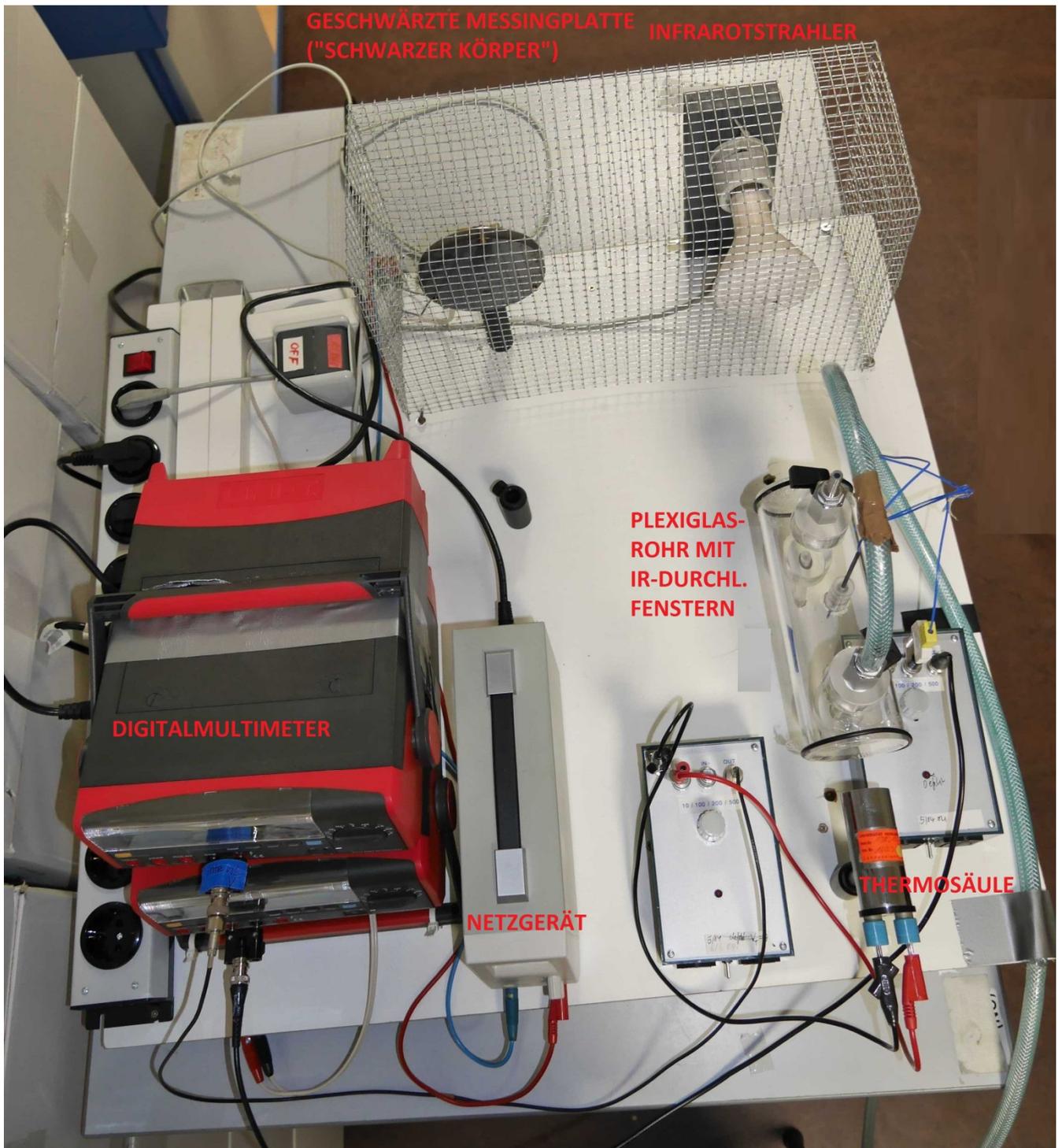
Zu allen Versuchsaufbauten gehört zusätzlich jeweils ein PC mit Monitor, Tastatur und Maus. Nicht abgebildet sind weiterhin der Aufbau der Experimentgruppe A (einige Geräte fehlen uns noch), sowie die im Rahmen von D verwendete Wärmebildkamera.



Versuchsaufbau der Experimentgruppe B *Optischer Nachweis von Spurenstoffen in der Atmosphäre*; hier zu sehen das Experiment mit der NO<sub>2</sub>-Küvette.



Versuchsaufbau der Experimentgruppe *Absorption und Emission von sichtbarem Licht, Sonnenspektrum*; Lichtdetektor (schwarzes „Rohr“) hier in 90°-Position zur Messung des Fluoreszenzlichts.



Versuchsaufbau der Experimentgruppe *Absorption und Emission von Wärmestrahlung*, hier im Modus zur Messung der Strahlungsabsorption durch  $\text{CO}_2$ .