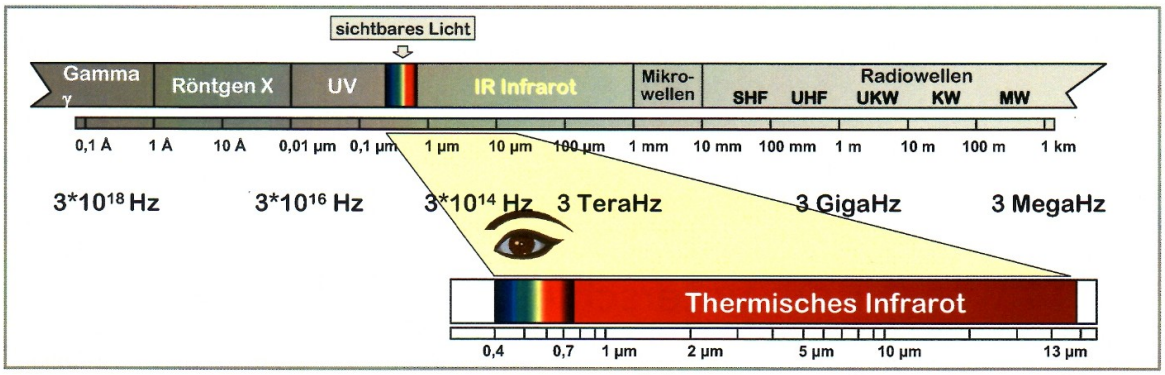
GYMNASIUM ST. ANTONIUS APPENZELL

Jonas Schönle
Gymnasium St. Antonius
Appenzell
jonas.schoenle@gym.ai.ch

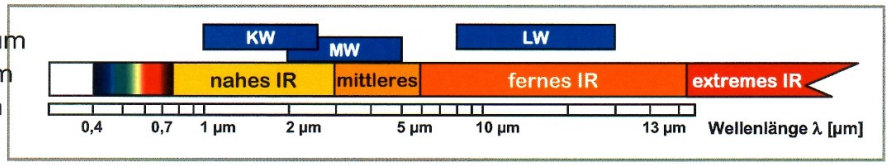
WÄRMEBILDKAMERAS IM EXPERIMENTELLEN CHEMIEUNTERRICHT

FUNKTIONSWEISE WÄRMEBILDKAMERA

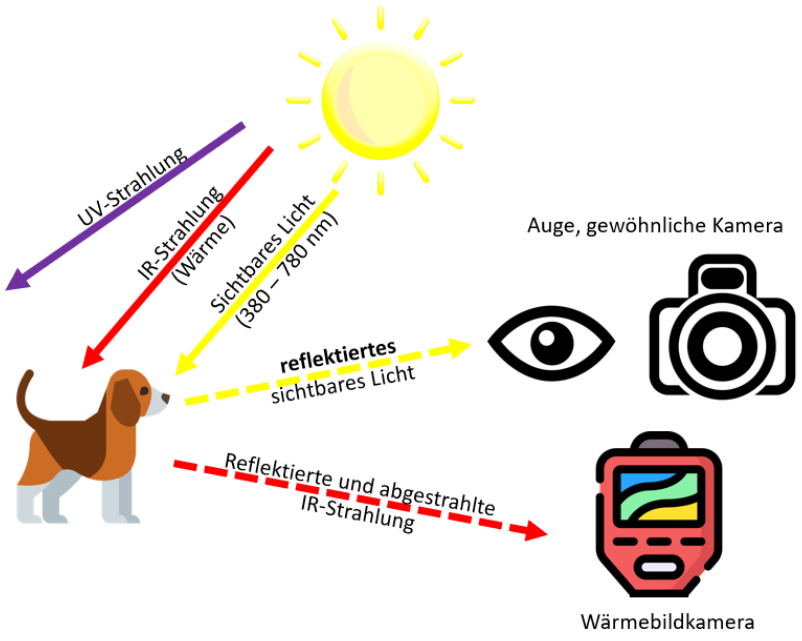
Eine Wärmebildkamera detektiert die Strahlungsstärke im Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums und wandelt sie in ein fürs menschliche Auge sichtbares Bild (**Thermogramm**) um.



- sichtbar: 0.4-0.7 µm
- kurzwellig: 1 -2,5 µm
- mittelwellig: 2-5 µm
- langwellig: 8-14 µm



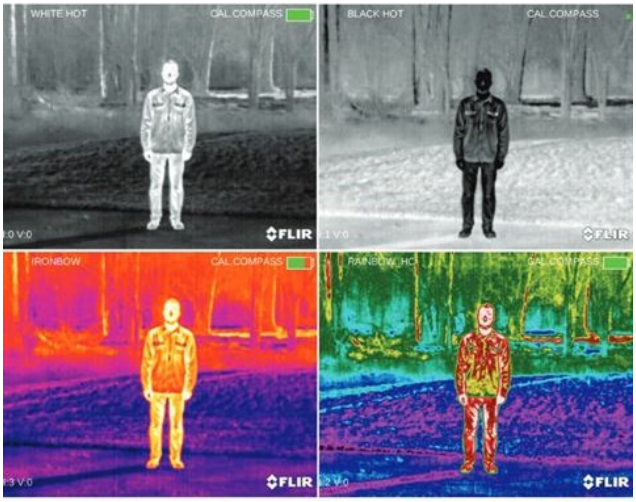
Quelle: https://www.flir-infrarotkameras.de/FLIR-Technik-und-Funktionen/IR-Grundlagen (07.10.2024).



Unsere Augen können als Detektoren für die Erkennung der elektromagnetischen Strahlung im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums bezeichnet werden. Alle anderen Formen elektromagnetischer Strahlung, wie die Infrarotstrahlung, sind für das menschliche Auge unsichtbar.

Die Quelle von Infrarotstrahlung ist thermische Strahlung (Wärme). Jeder Gegenstand, der eine Temperatur über dem absoluten Nullpunkt besitzt (- 273,15 Grad Celsius oder 0 Kelvin) strahlt im Infrarotbereich. Selbst Dinge, die wir für sehr kalt halten, beispielsweise Eiswürfel, strahlen in diesem Wellenbereich. Infrarotstrahlung erfahren wir jeden Tag. Die Wärme, die wir bei Sonnenlicht, einem

Feuer oder nahe einem Heizkörper empfinden, ist Ausdruck dieser Strahlung. Diese Strahlung können wir mit unseren Augen nicht sehen, aber die Nerven in unserer Haut können diese Strahlung als Wärme fühlen. Je wärmer ein Gegenstand, desto mehr Infrarotstrahlung geht von ihm aus.



Quelle:https://www.benel.de/webshop/warmebildkameras/warmebildkameras/flir-scion-otm266-warmebildkamera.html (07.10.2024).

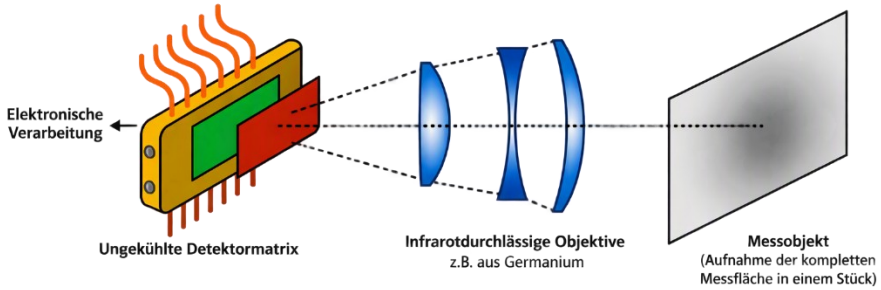
Die **Infrarot-Thermografie** ist die Umwandlung eines Infrarotbildes in ein **radiometrisches Bild**, aus dem sich Temperaturwerte ablesen lassen. Denn jeder Pixel im radiometrischen Bild entspricht einer Temperaturmessung. Temperaturbereiche werden nach Wunsch in unterschiedlichen Farben oder unterschiedlichen Grautönen dargestellt.[1]

Da Wärmebildkameras mit einer hohen Auflösung sehr teuer sind, gibt es günstigere Geräte mit einer Fusion von Wärmebild und Lichtbild. Beim Hersteller FLIR[2] wird dies als MSX® (Multi-Spectral Dynamic Imaging = multispektrale dynamische Bildgebung) bezeichnet. Beim MSX® werden Kanten- und Umrissdetails über das Wärmebild gelegt. Wärmebildkameras mit dieser Funktion verfügen über zwei Kameras – eine Wärmebildkamera und eine visuelle Kamera (d. h. eine normale Digitalkamera).[3]



Quelle: https://www.flir.de/discover/professional-tools/what-is-msx/ (07.10.2024).

Bei den hier besprochenen Wärmebildkameras handelt es sich um solche mit ungekühlten Infrarotdetektoren. Die Umwandlung der IR-Strahlung in ein elektrisches Signal basiert auf der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes. Diese Detektoren sind in Arrays angeordnet.



Quelle: Nachrichten aus der Chemie, 66, Dezember 2018, S.1183.

[1] https://scv-sa.ch/wp-content/uploads/2020/03/Ratgeber_Bauanwendungen_Erneuerbare-Energien.pdf (07.10.2024)

[2] Die Abkürzung FLIR steht für **f**orward **l**ooking **I**nfr**r**ared, also eine Wärmebildkamera welche in Richtung der Fahrzeug-. oder Flugzeugachse nach vorne schaut.

[3] https://www.flir.de/discover/professional-tools/what-is-msx/ (07.10.2024).

VON MIR GENUTZTE UND GETESTETE GERÄTE

	Flir C5 	**Flir C2** 	**CAT Flir S61**  Mobiltelefon mit Wärmebildkamera	**Uni-T UTi120T** 	**Uni-T UTi120P** 	**Ulefone Armor Mini 20T Pro**  Mobiltelefon mit Wärmebildkamera	**Laserliner 082.079A ThermoCamera** 
Hersteller	Flir	Flir	CAT - Flir	UNI-T	UNI-T	Ulefone - Flir	Laserliner
Auflösung IR	160 x 120 Pixel	80 x 60 Pixel	80 x 60 Pixel	120 x 90 Pixel	120 x 90 Pixel	160 x 120 Pixel	160 x 120 Pixel
Temperaturbereich	-20°C – 400°C	-10°C – 150°C	-20°C – 400°C	-20°C – 400°C	-20°C – 400°C	-10°C – 400°C	- 20°C – 550°C
Foto/ Video	Foto	Foto	Foto/ Video	Foto	Foto	Foto/ Video	Foto/Video
Speicher	Interner Speicher	Interner Speicher	Interner Speicher + SD	Interner Speicher	SD (32 GB inkludiert)	Interner Speicher + SD	SD (
Verbindung mit Computer	USB (Webcam)	USB (Webcam)	-	Nein	Nein	-	USB (Webcam) funktioniert bei meiner nicht nichtig
Fusion (IR-vis)	JA – MSX®	JA – MSX®	JA – MSX®	JA	Nein	JA – MSX®	JA
Preis (Galaxus, 06.10.2026)	581 CHF	nicht mehr erhältlich	nicht mehr erhältlich	395 CHF	220 CHF	344 CHF	432 CHF
Vor- und Nachteile	+ Temperaturbereich + Webcamfunktion - Preis **Mein Favorit für Demoexperimente**	+ Webcamfunktion - Temperaturbereich - nicht mehr auf dem Markt	+ hat man immer dabei + Videofunktion - nicht mehr auf dem Markt	+ Temperaturbereich + Preis	+ Temperaturbereich + Preis - keine Fusion von IR und Vis	+ IR- Auflösung + Videofunktion + Preis + hat man immer dabei	+ IR- Auflösung + Videofunktion + Temperaturbereich **Mein Favorit für Schülerexperimente**

Abbildungen: https://www.galaxus.ch/de/s4/product/flir-c5-waermebildkamera-14526672, https://www.flir-infrarotkameras.de/FLIR-C2-Infrarotkamera, https://www.tequipment.net/Cat-S60-vs-Cat-S61/, https://www.galaxus.ch/de/s4/product/uni-t-uti120t-pocket-sized-thermal-waermebildkamera-waermebildkamera-36059819?supplier=8244233, https://www.galaxus.ch/de/s4/product/uni-t-uti120p-pocket-sized-thermal-waermebildkamera-waermebildkamera-36059811?supplier=8244233, https://www.galaxus.ch/de/s1/product/ulefone-armor-mini-20t-pro-256-gb-frost-black-470-dual-sim-5g-smartphone-52984659?openBlocks=specifications, https://www.galaxus.ch/de/s4/product/laserliner-082079a-thermocamera-taschen-waermebildkamera-handwaermebildkamera-waermebildkamera-60809860?openBlocks=specifications-description-priceHistoryBlock

EINSTELLUNGEN/ OPTIONEN

- Je nach Wärmebildkameratyp können/ müssen eingestellt werden:
  - Darstellung (nur IR, nur normales Bild oder Überlagerung)
  - Temperaturmessbereich
  - Darstellung (Farben oder schwarz-weiss)
  - Entfernung
  - Emissionsgrad, reflektierte Temperatur, Luftfeuchtigkeit
  - Temperaturskala (automatisch oder fixiert)
  - Messpunkt(e)

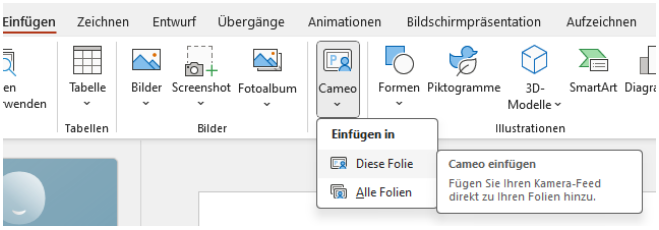
DEMOEXPERIMENTE UND VIDEOAUFNAHMEN MIT FLIR-GERÄTEN (C2 UND C5)

Die erwähnten Geräte von FLIR (C2 und C5) können über ein USB-Kabel mit dem Computer verbunden werden. Vom Computer werden sie als Webcam akzeptiert. Dies ermöglicht es die **Wärmebildkamera für Demonstrationsexperimente** zu nutzen. Unter Windows am einfachsten über die vorinstallierte **App «Kamera»**. Sobald die Kamera verbunden ist, erscheint im Programm oben rechts die Option «Kamera ändern» (1). Durch Auswählen dieser Option erscheint nun das Bild der Wärmebildkamera in der App. So kann das Bild der Wärmebildkamera über den Beamer/ Screen präsentiert werden. Mit dieser App ist es auch möglich **Videos mit der Wärmebildkamera** aufzunehmen. Wähle dazu die Funktion Video (2) aus.

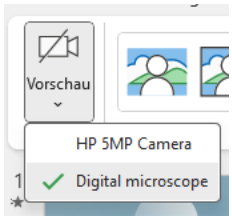


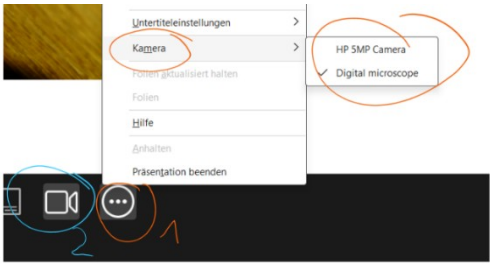
WEBCAM GERÄTE (C2 UND C5) DIREKT IN POWERPOINTPRÄSENTATION INTEGRIEREN (CAMEO)

Die Funktion **Cameo** ermöglicht es ein Livebild einer Webcam in eine PowerPoint Präsentation zu integrieren. Gedacht ist dies v.a. für online Präsentationen oder Aufzeichnungen, um sich selbst einzublenden. Es kann aber auch im Unterricht verwendet werden um eine Webcam, USB-Lupenkamera oder eine Wärmebildkamera mit der Webcamfunktion direkt einzubinden.



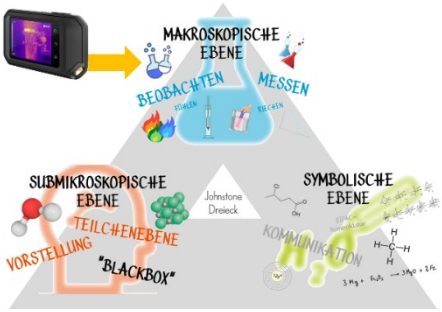
Anleitung: Zuerst «Einfügen», «Cameo» und «diese Folie auswählen». Es erscheint ein runder Platzhalter für die Webcam. Nun wählt man «kein Kameraformat», ganz links bei den Kamerastilen, aus. Durch Drücken auf das Kamerasymbol wird die Kamera aktiviert und die gewünschte Kamera wird ausgewählt. Das Bild kann über die gesammte Folie gezogen werden, aber auch nur einen Teil der Folie beanspruchen. In einer PowerPoint Präsentation kann Cameo auf mehreren oder allen Folien in unterschiedlichen Grössen und Formen benützt werden. Es ist auch möglich während der Präsentation die Kamera zu welchseln. Durch Auswählen der Funktion (weitere Einstellungen (1)) – Kamera in der Referentenansicht. Es ist auch möglich das Kamerabild auszuschalten: Kamerasymbol (2) auswählen.



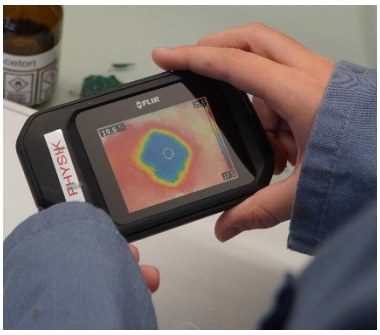


MEHRWERT DURCH DEN EINSATZ EINER WÄRMEBILDKAMERA IM UNTERRICHT

- Visualisieren von Temperaturänderungen welche sonst nicht oder nur schwierig gezeigt werden können
- Man sieht sehr kleine Temperaturveränderungen/ Unterschiede
  - Bsp. Neutralisation
- Sehr schnelle Temperaturmessung
- Übersicht im Gegensatz zu Punktmessung mit Thermometer



MEINE ERFAHRUNGEN ZUM EINSATZ VON WÄRMEBILDKAMERAS IM CHEMIEUNTERRICHT



Der damalige Kollege aus der Physik bestellte für seine Fachschaft vier Kameras. Ich benutzte sie ab und zu, v.a. auch für Demoexperimente. Auf das Schuljahr 22/23 hin habe ich genug Wärmebildkameras angeschafft, dass wir eine für jede Laborzweiergruppe (6 bis 7) besitzen. Seither verwenden sie die Schüler auch selbst im Laborunterricht. Anfangs verwendete ich sie ab dem Thema «Energieformen» (4. Gym., 2.MAR Stufe) heute bereits in der 2. Gym. (Sek I Stufe 2).

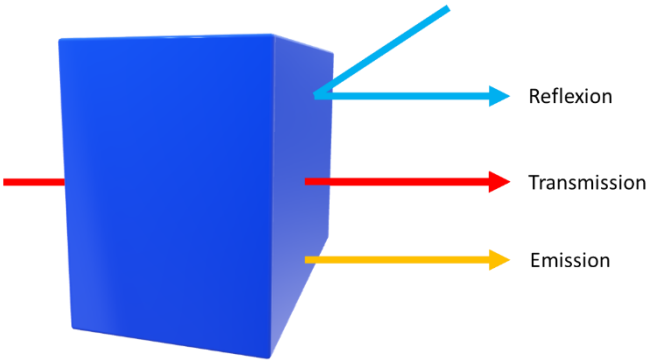


Die SuS kommen mit der Kamera sehr schnell zurecht. Die ersten Einsätze im 2. Gym. erfolgen ohne grosse Einführung in das Gerät, es geht einfach darum zu sehen, ob etwas kalt oder warm wird. Später erfolgt eine Einführung mit entsprechenden Experimenten (vgl. S. 6). Bei weiteren Experimenten, bei welchen der Einsatz der WBK sinnvoll ist, gehört der Einsatz zum Beobachtungsauftrag. Natürlich untersuchen die SuS mit der Wärmebildkamera auch ihre Kolleginnen und Kollegen und die Isolation des Schulhauses, aber mit der Zeit wird es zu einem gewöhnlichen «Werkezeug» im Chemielabor Es kommt auch immer wieder vor, dass die SuS die Wärmebildkamera auch wünschen, wenn ich den Einsatz nicht vorgesehen habe.

TRANSMISSION – EMISSION - REFLEXION

Materialien sind gegenüber IR- Strahlung teilweise durchlässig und teilweise auch nicht (→Transmission). So ist zum Beispiel Glas nicht Infrarottransparent. **Beobachtet man also eine Glasapparatur mit der Wärmebildkamera, bildet diese die Aussentemperatur ab**! Eine dünne Plastikfolie (z.B. Mäppchen) ist hingegen praktisch IR-transparent, das heisst sie hat einen hohen Transmissionsgrad.

Neben der IR-Transparenz ist auch die **Reflektion von IR-Strahlen** zu beachten. Dies trifft vor allem auf Metalle (besonders mit glatter Oberfläche) aber auch auf Glas zu. Die Emission (Abgabe von Wärmestrahlung) möchte man messen. Für genaue Messungen müssen diese Parameter bei der Durchführung der Messung berücksichtigt und im Gerät eingegeben werden.[4] Geht es aber in erster Linie darum, dass man Temperaturänderungen visualisieren möchte, kann dies in der Regel vernachlässigt werden.



Für den Unterricht wichtig:

- **Glas hat einen sehr geringen Transmissionsfaktor für IR-Strahlung**, man kann also nicht durch Glas hindurch messen, sondern nur die Oberflächentemperatur eines Glasgefässes messen.
- IR-Strahlung wird v.a. von **glatten Metallflächen, aber auch von Glas reflektiert**.

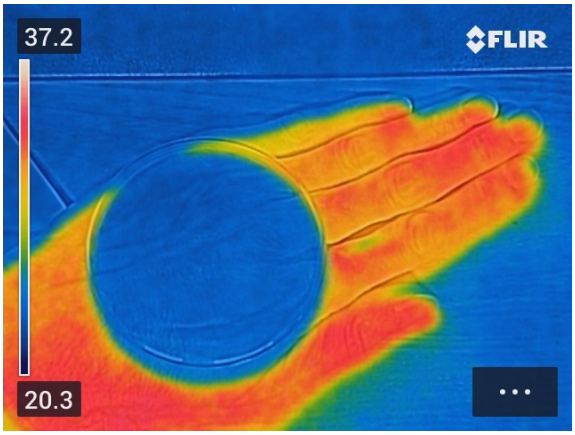
EINSTIEGSEXPERIMENTE



Mögliche Experimente zum Kennenlernen der Wärmebildkamera und den Materialeigenschaften Reflexion, Transmission und Emission von IR-Strahlung:

- Petrischale auf der Hand
- Kopf mit/ ohne Brille/Schutzbrille
- Hand teilweise mit Plastikfolie, Alufolie oder Papier bedecken
- Reflektion von IR-Strahlung (Hand) an Alufolie, Fensterscheibe etc.

Anstelle der Hand kann auch ein IR-Strahler eingesetzt werden.

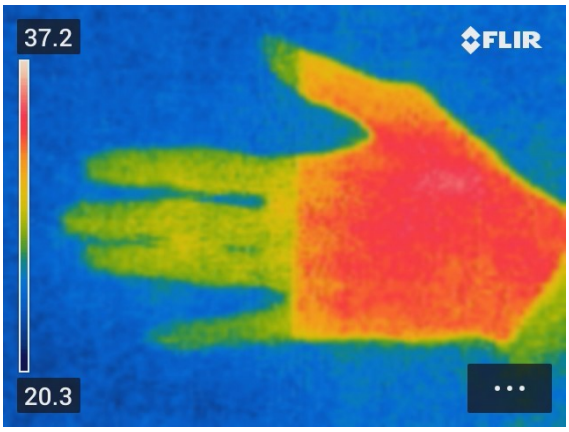


Eine Petrischale auf der Hand zeigt, dass Glass für IR-Strahlen nicht transparent ist. Messungen durch Glas ist nicht möglich.

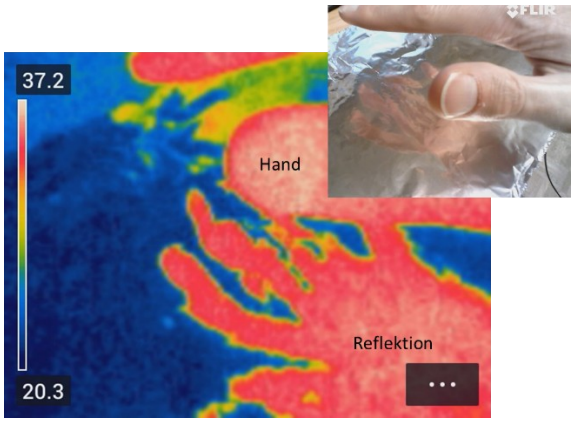


So sind auch die Brillen von Brillenträgern deutlich zu erkennen.

[4] https://www.testo.com/de-AT/Services/knowledgebase-ti/knowledgebase-thermography-emission-reflection-transmission (06.10.2024)



Die linke Seite der Hand ist mit einer Plastikfolie (Mäppchen) abgedeckt.



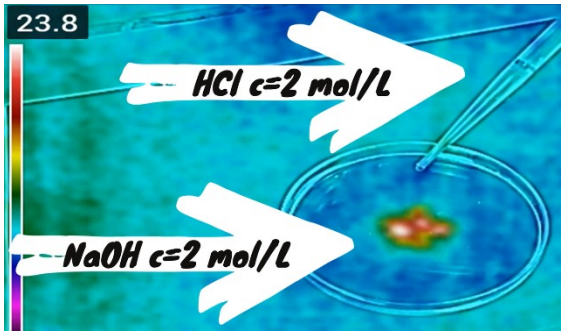
Reflektion der IR-Strahlung (von der Hand) auf der Aluminiumfolie

EXPERIMENTE - ANWENDUNGEN

NEUTRALISATION

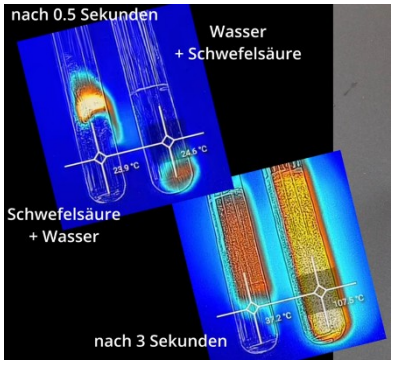


Ein Bsp. für eine Beobachtung, welche man wirklich nur mit der Wärmebildkamera visualisieren kann: Nur ein einziger Tropfen Salzsäure (c = 2 mol/L) wird in wenig Natronlauge (c = 2 mol/L) in einer Petrischale getropft, oder umgekehrt. Man beobachtet eine leichte Erwärmung in der Mitte der Petrischale.



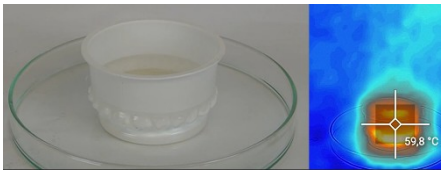
Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Exotherme Reaktion ist ersichtlich bei der Zugabe eines Tropfens.



Warum heisst es «Zuerst das Wasser dann die Säure sonst geschieht das Ungeheure»? Auch dies kann man mit der WBK gut visualisieren. Gibt man Wasser und konzentrierte Schwefelsäure einmal in korrekter Reihenfolge und einmal in der falschen Reihenfolge in ein Reagenzglas und beobachtet dies mit der Wärmebildkamera. Man beobachtet die bessere Durchmischung und dadurch auch Verteilung der Wärme, wenn die Schwefelsäure ins Wasser gegeben wird.

Ein weiteres Experiment mit konzentrierter Schwefelsäure und Wasser: Bei der Zugabe von Wasser zur Säure in einem Plastikbecher (dünne Joghurtbecher, nach dem Entfernen der Kartonbandage) wird dieser weich und sackt zusammen.



Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Die Durchmischung von Wasser und Säure kann (indirekt über die Verteilung der Wärme) gut gezeigt werden.
- Im Beispiel mit der konz. Schwefelsäure und Wasser kann besser verdeutlicht werden, dass der Kunststoff durch die stark exotherme Reaktion weich wird und nicht aufgelöst (häufige Fehlvorstellung) wird.

VERDUNSTUNGSKÄLTE



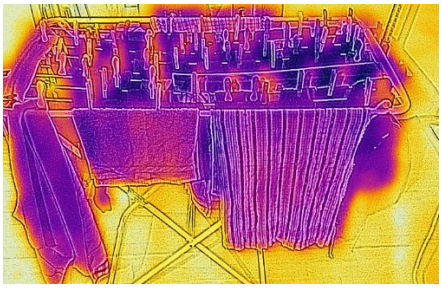
Gib jeweils einige Tropfen Wasser, Aceton und Ethanol in jeweils eine grosse Petrischale. Beobachte mit der Wärmebildkamera.

Zusätzlich kann im Anschluss ein wenig «cool gel» auf eine Petrischale und/oder den Arm gerieben werden. Beobachte mit der Wärmebildkamera. *Inhaltsstoffe: Aqua, Isopropyl Alcohol, Menthol, Carbomer, Menthyl Lactate, Tromethamine, Mentha Piperita Oil, Arnica Montana Flower Extract, Limonene, Alcohol Denat., Acrylates/ C10-30 Alkyl Acrylate Crosspolymer, Linalool, CI 42051 Acide Blue 3 (INCI Declaration)*



Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Kleinste Temperaturunterschiede können auch mit kleinen Mengen gezeigt werden.



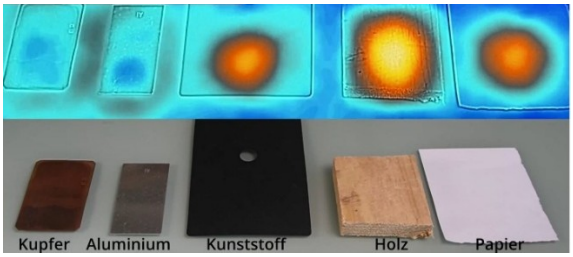


Weiter kann gezeigt werden, dass trocknende Wäsche oder ein nasser Lumpen kälter ist als die Umgebung. Oder auch, dass sich Ethanol abkühlt, wenn es bei Raumtemperatur und gesenktem Druck zu Sieden beginnt. (vgl. QR-Code, Ethanol siedet bei Raumtemperatur und Unterdruck). Dieser Effekt kann auch beim Arbeiten mit einer Nutsche und Saugflasche beobachtet werden. Zum Beispiel um die Wartezeit des Filtrationsvorgangs zu überbrücken.

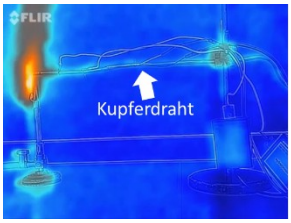
WÄRMELEITFÄHIGKEIT



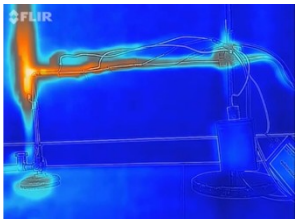
Erwärme mit dem Wasserkocher Wasser zum Sieden und fülle das Becherglas zur Hälfte damit. Stelle das Becherglas nun nacheinander jeweils für 30 Sekunden auf Holz, Tischplatte, Aluminium, Kupfer, Styropor, Papier, u.s.w.. Beobachte das Material nach den 30 Sekunden mit der Wärmebildkamera und notiere deine Beobachtungen. Die Metalle können auch auf das Holz gelegt werden und das Becherglas während mehr als 30 Sekunden daraufgestellt werden. Beobachte auch den Tisch, nach dem Entfernen des zu testenden Materials.



Alternatives Experiment: Wärmeleitfähigkeit von einem Kupferdraht:







Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Es kann visualisiert werden wie die Wärme verteilt oder eben nicht wird.

RETTUNGSDECKE

Verpacke die Gläser jeweils mit einem Stück Rettungsdecke. Einmal soll die silbrige Seite aussen sein, einmal die goldige. Die Verpackung sollte möglichst nur einschichtig sein Fülle die zwei Rollrandgläser mit heissem Wasser.



Eine Rettungsdecke besteht aus einer dünnen Polyesterfolie (BO-PET) welche mit Aluminium bedampft wird («silbrige Seite). Der Aufbau der Decke kann gezeigt werden, wenn man sie in Säure einlegt, oder einige Tropfen Säuren drauftropft (Thema Redoxreaktionen)

Vorteile durch Einsatz von WBK:

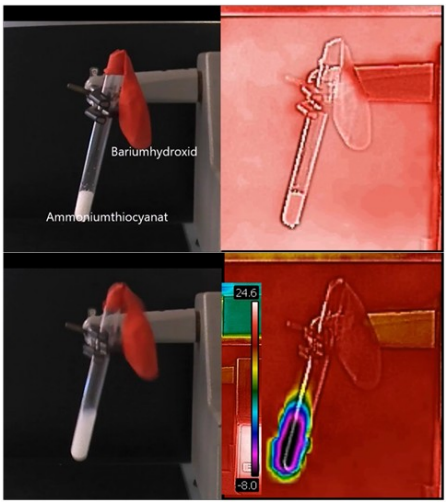
- Der Effekt der Wärmeabstrahlung der metallischen Seite («silbrig) kann eindrücklich gezeigt werden.

Quelle der Abbildung (bearbeitet): https://www.survivalset-ratgeber.com/rettungsdecke-kaufen-uebersicht/ (04.04.2025)

ENDOTHERME REAKTION: BARIUMHYDROXID UND AMMONIUMTHIOCYANAT

Die Reaktion der beiden Feststoffe Bariumhydroxid und Ammoniumthiocyanat ist ein Beispiel für eine endotherme Reaktion. Eine beliebte Reaktion beim Thema Enthalpie – Entropie.

$$Ba(OH)_2 \cdot 8\,H_2O\,(s) + 2\,NH_4SCN\,(s) \rightarrow Ba(SCN)_2\,(aq) + 2\,NH_3\,(g) + 10\,H_2O\,(l)$$



Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Reaktion ist ersichtlich, auch wenn nicht, respektive bevor geschüttelt wird. → Schütteln für Reaktion nicht notwendig (häufige Fehlvorstellung!)
- Reaktion kann mit kleinen Mengen durchgeführt werden.

Ein ähnliches Experiment kann auch mit Zitronensäure und Natriumhydrogencarbonat-Pentahydrat durchgeführt werden: Gib wenig Zitronensäure und Natron in eine Petrischale und vermische die Pulver. Gib nun 1-2 Tropfen Wasser dazu. Alternativ kann auch Natron und Zitronensaft verwendet werden: Zu Natronpulver wird wenig Zitronensaft dazu getropft.

EXPLOSION EINES LEICHTBENZIN – LUFT GEMISCHS



Als Alternative zum bekannten Experiment mit dem Explosionsrohr (Zündrohr) habe ich diese Miniaturvariante aus einer grossen Spritze (60 mL) und einem Piezozunder gebastelt. Der Vorteil ist, dass jede Schülerin und jeder Schüler das Experiment selbst durchführen können. Hingegen ist es «von Hand» kaum möglich die freiwerdende Wärme festzustellen.

Gib 0.01 mL Leichtbenzin (Micropipette) in die Spritze, verschliesse sie mit dem Gummipfropfen, schüttle ein wenig und drücke nun auf den Piezozünder. Beobachte den Vorgang auch mit der WBK.

Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Die bei der Reaktion freigesetzte Wärme kann auch bei diesem kleinen Ansatz festgestellt werden.

HANDWÄRMER – WÄRMEPFLASTER (AKTIVKOHLEWÄRMER)

Diese für den einmaligen Gebrauch bestimmten Wärmerspender bestehen aus Eisenpulver, Kochsalz, Aktivkohle, Wasser und Vermiculit umgeben von einer gasdurchlässigen Membran. Nach Öffnen einer luftdichten Umverpackung erfolgt eine langsame Oxidation des Eisens mit Luftsauerstoff (Rosten). Durch die Verbindung mit Sauerstoff oxidiert das Eisen exothermen.

Im Experiment werden die beiden Kammern zuerst durch einen Schnitt voneinander getrennt. Die eine Kammer wird normal verwendet, d.h. leicht geschüttelt und hingestellt, die andere wird geöffnet und der Inhalt in eine Wäge Schälchen geschüttet. Mit der WBK werden die beiden Experimente beobachtet und verglichen.

Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Temperaturunterschied ist visualisierbar.

IR STRAHLER, UV LAMPE, LED, GLÜHLAMPE, ETC.

Gehört eigentlich eher in die Physik, aber beim Unterricht auf der Sek I Stufe oder auch bei der Einführung der Wärmebildkamera, im Zusammenhang mit dem elektromagnetischen Spektrum, kann dieses Experiment nützlich sein.

Mit der Wärmebildkamera werden IR-Strahler (mit und ohne sichtbares Licht), UV-Lampen, LED-Lampen, Leuchtstoffröhren und klassische Glühlampen betrachtet.

Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Temperaturunterschiede sind visualisierbar.
- Auch geringe Temperaturunterschiede sind darstellbar

In diesem Zusammenhang kann auch bei Experimenten mit Chemolumineszenz die Bezeichnung «kaltes Licht» verifiziert werden. Zum Beispiel das Knicken eines Knickstäbchens.

KOCHSALZ AUF EIS

Lege einen Eiswürfel in eine Petrischale. Streue nun zuerst wenig, dann immer mehr Natriumchlorid auf den Eiswürfel. Beobachte mit der Wärmebildkamera. (→ Streusalzeinsatz im Winter)

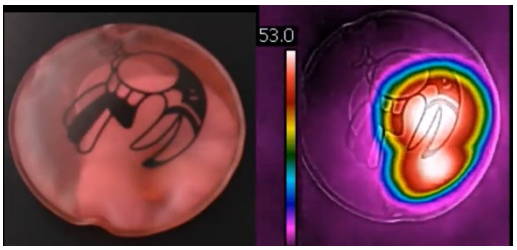
In einem ähnlichen Experiment kann auch gezeigt werden, wie Schnee mit Salz vereist werden kann (→ Skipisten für Rennen).



Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Man kann beobachten, dass sich die Salzkörnchen nicht nur ins Eis hineinfressen, sondern auch, dass die Temperatur sinkt.

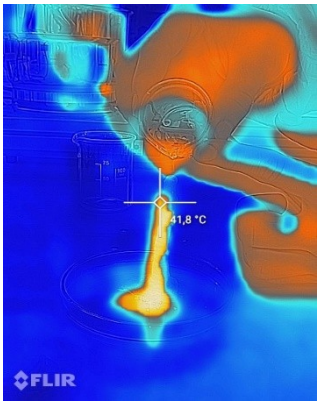
KRISTALLISATIONSWÄRME: WÄRMEKISSEN UND NATRIUMACETATSÄULE

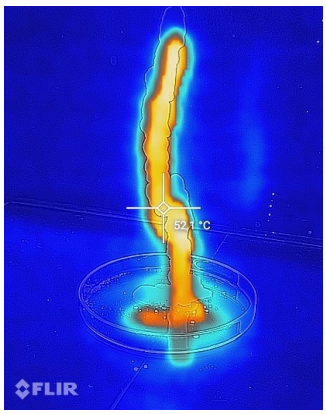


Aktiviere ein Wärmekissen (Knicken des Metallplättchens). Durch diese Störung beginnt die unterkühlte Natriumacetat-Trihydrat Schmelze zu kristallisieren. Beim Experiment Natriumacetatsäule (auch als «warmer Eisberg» bekannt) wird eine unterkühlte Natriumacetat-Trihydrat Schmelze auf fest Natriumacetat geschüttet. Auch hier kommt es zu einer exothermen Kristallisation.

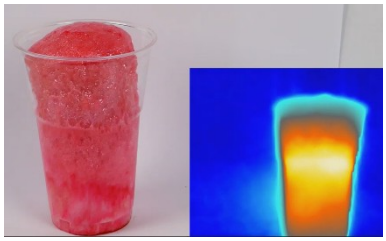
Vorteile durch Einsatz von WBK:

- Beim Wärmekissen kann der Zusammenhang zwischen der Kristallisation und der Wärmeabgabe gezeigt werden.
- Bei der filigranen Natriumacetatsäule könnte man die Temperatur ohne WBK nur schwer messen.



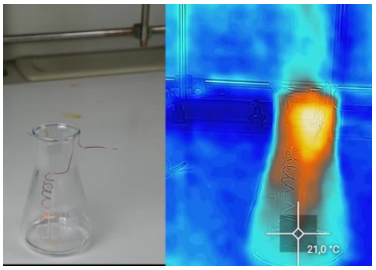


EXOTHERME BILDUNG VON POLYURETHANSCHAUM



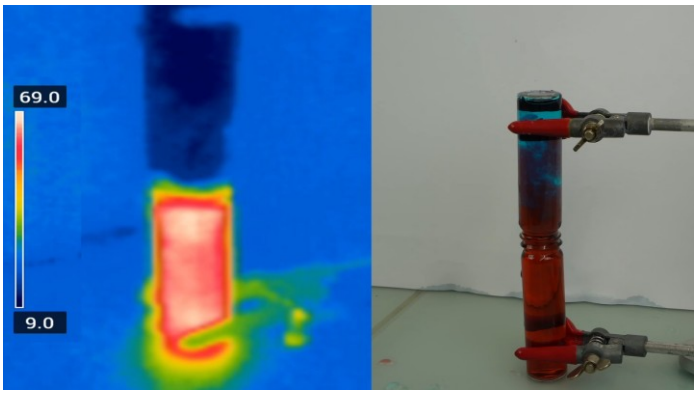
Vorteile durch Einsatz von WBK:
- Thermometer könnte man nur schwer wieder aus dem Schaum rauskriegen.

VERBRENNUNG VON ACETON (MIT KUPFERDRAHT ALS KATALYSATOR)

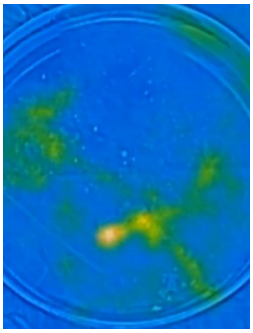


Vorteile durch Einsatz von WBK:
- Vorhandensein von heissen Gasen kann gezeigt werden.

VERMISCHEN VON WASSER (KALT UND WARM)



NATRIUM UND WASSER



Das bekannte Experiment: Kleine Stücken Natrium werden in eine mit Wasser gefüllte Petrischale gegeben.

Vorteile durch Einsatz von WBK:
- Im kleinen Masstab kann gezeigt werden, dass die Reaktion exotherm ist.