

## Thermoregulation – Anpassungsstrategien der Natur

Am Samstag, dem 25. 02. 2023 fand die dritte Fortbildung des VBIO-NRW für Lehrerinnen und Lehrer am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln statt. Die verschiedenen Vorträge beleuchteten Forschungsergebnisse, bei denen neben den faszinierenden Anpassungen extremophiler Mikroorganismen überwiegend der Mensch im Vordergrund stand und seine Möglichkeiten, auf Kälte und Hitze zu reagieren. Neben natürlichen, evolutiv entstandenen Regulationsmechanismen hat der Mensch auch anderweitige Möglichkeiten sich zu schützen.

Ein Beispiel dafür konnte **Professor Jörn Rittweger** (DLR, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin) sehr eindrucksvoll in seinem einleitenden Vortrag „**Wie Astronauten extreme Temperaturschwankungen im Weltall überleben**“ zeigen. Während auf der Sonnenseite eines Raumfahrzeugs etwa 100 °C herrschen können, liegt die Temperatur auf der Schattenseite beim absoluten Nullpunkt. Neben solchen Temperaturgegensätzen sind die Astronaut/-innen auch einer hohen UV-Strahlung auf der Sonnenseite sowie einer hohen Infrarot-Strahlung auf der Schattenseite ausgesetzt. Mit eindrucksvollen Bildern erklärte Jörn Rittweger die Rolle des Raumanzugs mit Blick auf thermische Kontrolle, aber auch hinsichtlich der Aufrechterhaltung eines bestimmten Innendruckes, der geringer ist als auf der Erde. Für Spannung, gemischt mit Heiterkeit, sorgte Jörn Rittweger, als er über einen Zwischenfall im All berichtete, bei dem der Astronaut Alexej Leonov während des Fluges von Woschod 2 im Jahre 1965 auf seinem *space walk* knapp einer Katastrophe entging. Dieser erste Weltraumausstieg dauerte nur wenige Minuten, aber sein Schutzanzug hatte sich in dieser Zeit so aufgebläht, dass er nicht mehr in die Ausstiegsschleuse einsteigen konnte. Geistesgegenwärtig betätigte er einen Ventilknopf zum Ablassen des Druckes im Raumanzug und passte durch die Luke. Herr Rittweger schloss seinen Vortrag mit einem interessanten Tipp in Zeiten der Energiekrise und erklärte, wie man sich mithilfe einer in Fußhöhe angebrachten Infrarotheizung bei einer relativ niedrigen Raumtemperatur wohlfühlen kann.

**Professor Pontus Persson**, Charité – Universitätsmedizin Berlin, erschloss in einem offenen Vortrag mit den Zuhörern das Thema „**Thermoregulation beim Menschen auf der Erde – Anpassung an Hitze**“. Er machte deutlich, welche unterschiedlichen, regulatorisch eingreifenden Möglichkeiten der menschliche Körper hat. So ging er auf die Bedeutung der Körperkerntemperatur ein, schilderte die zentrale Rolle des Hypothalamus, der auf die Meldung von Thermorezeptoren für eine veränderte Hautdurchblutung und Schweißproduktion sorgt. Ausführlich erklärte er die Mechanismen der Wärmeabgabe über die Körperoberfläche durch Strahlung (Konduktion = Wärmediffusion) und über Verdunstung (Konvektion = Wärmeströmung mithilfe von Teilchen). Mit Staunen erfuhr man, dass ein aktiver Jogger eine Körperkerntemperatur von 41 °C haben kann. Mit Blick auf die Variabilität der Hautdurchblutung schilderte er das Phänomen der Vasokonstriktion (Verengung) der Arteriolen um die Wärme im Körper zu halten. Dazu trägt eine Kurzschlussverbindung zwischen Arteriolen und Venolen bei, die dann das Blut aus den Arteriolen direkt in die Venolen abfließen lässt. Im Rahmen temperaturregulatorischer Vorgänge kann die Durchblutung der Fingerspitzen um das Tausendfache schwanken! Vor dem Hintergrund dieses äußerst anpassungsfähigen Temperaturregulationssystems kommt Pontus Persson schließlich überraschend zu der interessanten Aussage, dass der Mensch hinsichtlich der Kerntemperatur homoiotherm, aber mit Blick auf die Extremitäten poikilotherm sei.

Schon im Vortrag von Pontus Persson klang an, wie der menschliche Körper auf Kälte reagiert. **Professor Jurij Gorjanc**, Universität Ljubljana Klagenfurt, trug seinen Teil als Chirurg bei. Er verstand es mit z. T. sehr drastischen Aufnahmen von Erfrierungen in seinen Ausführungen zum Thema „**Wie sich Menschen an extreme Kälte anpassen können**“ aufzurollen, welche Auswirkungen es hat, wenn ein Mensch zu lange der Kälte ausgesetzt ist. Schon die Statements zu Beginn seines Vortrags verrieten, dass Thermogenese und Wärmeisolierung in der Kälte im Vergleich zum Kühlen in der Hitze sehr limitiert sind. Kältezittern stellt nur kurzfristig Wärmeenergie zur Verfügung und ist unökonomisch, da die konvektiven

Wärmeverluste zunehmen. Periphere Vasokonstriktion (siehe oben) setzt zwar ein, wird aber nicht durchweg gehalten. Stattdessen wird die sogenannte „*Hunting Reaction*“ beobachtet, bei der Vasokonstriktion immer wieder von Phasen der Vasodilatation unterbrochen wird, um das betroffene Körperareal zu schützen. Als Chirurg und sehr erfahrener Notarzt im Hubschrauber-Bergrettungsdienst bringt sich Jurij Goranc mit dem Thema „*Kälte-induzierte Vasodilatation (CIVD) als Vorhersagemodell für Erfrierungen*“ in die Forschung ein. Im Zentrum seiner Arbeit steht dabei die Frage, wie man Menschen mit größerem Risiko für Erfrierungen erkennt. Jurij Gorjanc konnte zeigen, dass die CIVD zwischen Fingern und Zehen (= interdigital) unterschiedlich ausfällt, außerdem ist sie individuell unterschiedlich. Ferner ist interessant, dass Kälteakklimatisation nach einer Kälte-Expedition in den Händen evident ist, in den Füßen aber nicht. Letztendlich belegen seine Forschungen, dass mit dem CIVD-Test Alpinist/-innen mit einer größeren Neigung zu Erfrierungen erkannt werden können. Inzwischen geht man der neuen interessanten Fragestellung nach, ob vielleicht ein Gen, das GDF5-Gen, involviert ist.

**Carolin Möller**, Doktorandin im Biomedizinisches Zentrum der Universität Bonn, ging mit ihrem Vortrag zum Thema „**Braunes Fettgewebe: Wärmequelle in kalten Zeiten**“ auf einen weiteren interessanten Mechanismus der Wärmeproduktion ein. Sie führte aus, dass Babys aufgrund ihrer geringen Muskelmasse keine Wärme durch Kältezittern erzeugen können. Sie verfügen aber über braunes Fettgewebe, das im Nacken, zwischen den Schulterblättern, über den Schlüsselbeinen, an den Achseln und um die Nieren lokalisiert ist. Die Mitochondrien in diesen braunen Fettzellen besitzen ein Protein, das Thermogenin, das für die Entkopplung der Atmungskette in den Mitochondrien sorgt. Es bildet eine Pore durch die innere Mitochondrienmembran und macht sie durchlässig für die Protonen aus dem Intermembranraum. In der Folge bricht der elektrochemische Protonengradient, der zur ATP-Synthese benötigt wird, zusammen – ein Vorgang, der dazu führt, dass überschüssige Energie als Wärme freigesetzt wird. Lange war man der Annahme, dass Erwachsene kein braunes Fettgewebe mehr haben. Eigentlich auf der Suche nach Metastasen bei Krebspatienten, führte die Positronen-Emissions-Tomografie (PET) zu der Entdeckung, dass der erwachsene Mensch über metabolisch aktives braunes Fettgewebe verfügt. Weitere Untersuchungen – so beschrieb Frau Möller – belegen, dass das braune Fettgewebe beim Menschen je nach Region und Jahreszeit stärker bzw. weniger stark ausgebildet ist. Außer Kälte sind Sport und einige Lebensmittel ebenfalls Auslöser für die Aktivierung des Braunen Fettgewebes beim Erwachsenen. Kälteexposition kann auch zum Prozess des Beigens oder Bräunens von weißem Fettgewebe und zur Expression von Thermogenin und damit zur Thermogenese führen. Außerdem: Der besondere Metabolismus scheint sich positiv auf Adipositas und Typ-2-Diabetes auszuwirken!

**Dr. Kristina Beblo-Vranesevic**, DLR, Institut für Luft- und Raumfahrt, nahm schließlich die Anwesenden mit ihrem Vortrag zum Thema „**Extremophile – wie sie der Hitze und der Kälte widerstehen können**“ mit in andere Welten. Die Leitfrage: Alle Zellen der Lebewesen arbeiten nach dem gleichen Grundprinzip – wie schaffen es einige in wirklich extremen Umgebungen der Erde zu überleben? Mikroorganismen sind hier die Weltmeister der Anpassung und der universellen Verbreitung und ihre Anzahl ist schier unvorstellbar. Themengemäß beschränkte sich Kristina Beblo-Vransesevic auf hyperthermophile Mikroorganismen, deren optimale Wachstumstemperatur bei 80 °C und höher liegt – zum Teil in Kombination mit extremen pH-Werten – und auf psychrophile Mikroorganismen in alpinen und polaren Regionen, die bei über 20 °C kaum noch optimale Wachstumsbedingungen haben. So zeigt *Pyrolobus fumarii* Wachstum bei 113 °C! Anpassungen der hyperthermophilen Zellen finden sich bei den Lipiden in den Membranen (mehr gesättigte Fettsäuren; Lipidmonolayer statt Bilayer) und den Proteinen, bei denen im Vergleich zu Mesophilen einige Aminosäuren ersetzt sind, hydrophobe Zentren (Val, Cys) aufweisen, Salzbrücken der Stabilität dienen und die Faltung von Proteinen durch „Hitzeenzyme“ (Thermosome) gewährleistet wird. *Psychrobacter arcticus*, dagegen, wächst zwischen -10 bis 28 °C; die Ligaseaktivität zur DNA-Reparatur ist noch bei -15 °C gegeben. Weitere Anpassungen bei den Psychrophilen (Kälteliebenden) finden sich bei den Lipiden (mehr ungesättigte und kurzkettige/verzweigte Fettsäuren), in den Proteinen mehr  $\alpha$ -Helices und

weniger  $\beta$ -Faltblätter und eine an die Kälte angepasste Aminosäurezusammensetzung. Dazu treten besondere Schutzmechanismen durch Antifrost-Proteine und andere Moleküle wie Glycerin (bei Algen). Mikroorganismen kommen seit den Anfängen des Lebens vor. Kristina Beblo-Vranesevic schloss mit einem Ausblick auf mögliches Leben auf anderen Planeten wie Europa (Jupiter) und Enceladus (Saturn), da deren Ozeane unter der Eiskruste erdähnlich sind. Die spannende Suche und Erforschung hier auf der Erde lebender Mikroorganismen, die auch dort leben könnten, läuft schon im DLR.

Die Vorträge boten für die sich anschließende Gruppenarbeit eine Vielzahl anschaulicher Materialien, sodass zum Schluss fünf verschiedene Poster-Produkte (vgl. einsehbare Bilder zur Tagung) für den Museumsgang zur Verfügung standen. Einem vorgegebenen Muster (vgl. Abb.) folgend wurden vor dem Hintergrund derzeit gültiger Kernlehrpläne für die

Konstruktion einer Lernaufgabe	
1) Inhaltsfeld:	
2) Inhaltliche Schwerpunkte: (KLP-Bezug)	
3) Kontext der Lernaufgabe: (aus den Vorträgen)	
4) Leitfrage(n) der Lernaufgabe:	
Konkrete Anforderungen an die Lernenden	
5) Kompetenzerwartungen (KKE, ÜKE aus dem KLP):	
6) Kompetenzorientierte Aufgabenstellungen: (mit Materialbezug, operationalisiert, AFB I, II und III)	

Sekundarstufen I und II kompetenzorientierte Lernaufgaben konstruiert. Einigungsprozesse in den fünf Gruppen liefen schnell ab; sowohl in der Gruppenarbeit als auch während des Museumsgangs fand ein gewinnbringender, intensiver Austausch zwischen den Teilnehmenden und den Vortragenden statt. Die Atmosphäre war angenehm und sehr offen. Auf die erklärenden Vorträge vor den Postern folgten direkte, konstruktive und auch lobende Reaktionen. Auch Optimierungen und andere Möglichkeiten des Einsatzes wie z. B. Leistungsüberprüfungen wurden aufgezeigt. Selbst die Vortragenden nahmen teil, brachten sich wie in der Gruppenarbeitsphase nachfragend und beitragend ein. Es war so für alle gewinnbringend. Zitat nicht nur einer Lehrkraft: Sie hätten sich so ernst genommen gefühlt. Man hätte mit ihnen auf Augenhöhe gesprochen. Die Vortragenden boten von sich aus den E-Mail-Austausch an, waren angesteckt von der

Begeisterung der Lehrkräfte und versicherten, dass sie jederzeit gerne wieder einer Einladung folgen würden. Für den wissenschaftlichen Beirat (Dr. Horst Bickel, Prof. Dr. Susanne Bickel, Prof. Dr. Gabriele Pfitzer, LRSD' Margarete Radermacher, Prof. Dr. Jörn Rittweger) dieser dritten Veranstaltung bedeutet dies, dass dieses Format „Wissenschaft trifft Schule“ wieder aufgegangen und ein Erfolg ist.

Den besonderen Abschluss bildeten Führungen durch luft- und raumfahrt-medizinische Labore und das DLR\_School\_Lab, wobei es sich Jörn Rittweger nicht nehmen ließ, die spannenden Erläuterungen zum Druckraum, dem Schlaflabor und zur großen Humanzentrifuge selbst zu geben.

LRSD' a.D. Margarete Radermacher  
(stellvertretende Vorsitzende des Landesverbandes NRW im VBIO)