

Theresa von Helden

## **Schulthaugliche Versuche zur Temperaturwahrnehmung und ihre physiologischen Grundlagen**

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2008 Diplom.de  
ISBN: 9783836629409

**Theresa von Helden**

**Schulthaugliche Versuche zur Temperaturwahrnehmung  
und ihre physiologischen Grundlagen**



Theresa von Helden

## **Schulthaugliche Versuche zur Temperaturwahrnehmung und ihre physiologischen Grundlagen**

Theresa von Helden

**Schultaugliche Versuche zur Temperaturwahrnehmung und ihre physiologischen Grundlagen**

ISBN: 978-3-8366-2940-9

Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2009

Zugl. Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland, Staatsexamensarbeit, 2008

---

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und der Verlag, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

© Diplomica Verlag GmbH

<http://www.diplomica.de>, Hamburg 2009

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>I. Theoretischer Hintergrund .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Grundbegriffe der Sinnesphysiologie .....</b>	<b>4</b>
1.1 Objektive Sinnesphysiologie .....	4
1.2 Psychophysik .....	7
<b>2. Die Haut und ihre Sinne.....</b>	<b>12</b>
2.1 Mechanosensoren .....	13
2.2 Nozizeptoren.....	14
2.3 Thermosensoren.....	15
<b>3. Thermosensoren als Proportional-Differential-Fühler .....</b>	<b>19</b>
3.1 Entladungsverhalten bei konstanter Hauttemperatur.....	19
3.2 Entladungsverhalten bei Änderungen der Hauttemperatur.....	21
<b>4. Molekulare Mechanismen der Temperaturwahrnehmung .....</b>	<b>24</b>
<b>5. Zentrale Verarbeitung von Temperatursignalen .....</b>	<b>31</b>
<b>6. Psychophysik des Temperatursinns.....</b>	<b>38</b>
6.1 Statische Temperaturempfindungen .....	38
6.2 Dynamische Temperaturempfindungen.....	40
6.3 Konstanzleistung vs. Wahrnehmung von Temperaturänderungen.....	47
<b>7. Materialunterscheidung durch den Temperatursinn .....</b>	<b>52</b>
7.1 Wärmeleitung zwischen Festkörpern .....	52
7.2 Materialspezifischer Verlauf von Temperaturänderungen an der Haut .....	53

<b>8. Thermoregulation</b> .....	<b>57</b>
8. 1 Homiothermie vs. Poikilothermie.....	57
8. 2 Regulation der Körperkerntemperatur.....	59
8. 3 Temperaturfühler und zentrale Verarbeitungsprozesse.....	60
<b>9. Exkurs: Temperaturwahrnehmung bei ausgewählten Tierarten</b> .....	<b>65</b>
<b>II. Schulversuche</b> .....	<b>68</b>
<b>1. Verankerung in Lehrplan und Bildungsstandards für das Fach Biologie</b> .....	<b>69</b>
<b>2. Schulversuche zur Temperaturwahrnehmung</b> .....	<b>72</b>
2. 1 Identifikation von Warm- und Kaltpunkten .....	73
2. 2 Die Bedeutung der Größe der Reizfläche.....	77
2. 3 Der Drei-Schalen-Versuch .....	81
2. 4 Weber'sche Täuschung.....	87
2. 5 Materialunterscheidung durch den Temperatursinn .....	89
<b>Fazit</b> .....	<b>93</b>
<b>Abbildungsnachweis</b> .....	<b>94</b>
<b>Tabellennachweis</b> .....	<b>96</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>97</b>

## Abbildungen

### Teil I:

**Abb. 1.1:** Der Weg vom Reiz zum Aktionspotential.

**Abb. 1.2:** Adaptation von Sinneszelltypen.

**Abb. 1.3:** Der Weber-Quotient und Webers Gesetz.

**Abb. 1.4:** Verteilung von Spontanaktivität und Antworten auf einen schwelennahen Sinnesreiz.

**Abb. 1.5:** Beziehung zwischen Reizstärke  $\phi$  und Empfindungsgröße  $\psi$ .

**Abb. 1.6:** Der Zusammenhang zwischen Empfindungsintensität  $\psi$  und Logarithmus der Reizstärke  $\phi$ .

**Abb. 2.1:** Der Aufbau der behaarten Haut beim Menschen.

**Abb. 2.2:** Die durchschnittliche Dichte von Warm-, Kalt-, Druck- und Schmerzpunkten.

**Abb. 2.3:** Axone der wichtigsten Hautsensoren beim Menschen.

**Abb. 2.4:** Lage und Struktur der Thermosensoren in der Haut.

**Abb. 3.1:** Entladungen von Kalt- und Warmsensoren.

**Abb. 3.2:** Abhängigkeit der dynamischen Antwort von Kältesensoren.

**Abb. 3.3:** Abhängigkeit der dynamischen Antwort von Wärmesensoren.

**Abb. 4.1:** Aufbau eines TRP-Kanals.

**Abb. 4.2:** Aktivierung des TRPV1-Kanals.

**Abb. 4.3:** Aktivierung des TRPM8-Kanals.

**Abb. 4.4:** Abkühlung aktiviert TRPM8.

**Abb. 4.5:** Erwärmung aktiviert TRPV1.

**Abb. 5.1:** Überlappende sensible Innervation der Haut durch drei Spinalnerven.

**Abb. 5.2:** Leitung und Verarbeitung somatoviszeraler Signale im ZNS.

**Abb. 5.3:** Signallaufplan spinaler somatoviszeraler Informationen.

**Abb. 5.4:** Projektion eines Temperaturreizes auf den Kortex.

**Abb. 6.1:** Adaptationszeiten der Thermosensoren.

**Abb. 6.2:** Psychophysik des Temperatursinns.

**Abb. 6.3:** Verlauf der Temperaturempfindung bei Erwärmung und Abkühlung.

**Abb. 6.4:** Der Weber-Quotient in Abhängigkeit von der Adaptationstemperatur.

**Abb. 6.5:** Lage der Warm- und Kaltschwellen bei linearen Temperaturänderungen verschiedener Richtung und Geschwindigkeit.

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

---

**Abb. 6.6:** Mittelwerte der Warm- und Kaltschwellen in Abhängigkeit von der Änderungsgeschwindigkeit  $du/dt$  und der Absoluttemperatur  $v$ .

**Abb. 6.7:** Warmschwellen in Abhängigkeit von der Reizfläche.

**Abb. 6.8:** Unterschiedsschwellen bei der dynamischen Temperaturempfindung in Abhängigkeit von Körperareal und Alter.

**Abb. 6.9:** Der Drei-Schalen-Versuch.

**Abb. 6.10:** Drei-Schalen-Versuchsreihe mit variierter Temperatur.

**Abb. 6.11:** Abgleichsexperiment für die Temperatur.

**Abb. 6.12:** Prüftemperaturen mit ihren jeweiligen Abgleichstemperaturen.

**Abb. 8.1:** Temperaturverteilung beim Menschen.

**Abb. 8.2:** Das Gegenstromprinzip des arteriovenösen Wärmeaustauschs.

**Abb. 8.3:** Mechanismen der Wärmeabgabe in Ruhe.

**Abb. 8.4:** Schema zur Thermoregulation des Menschen.

**Abb. 8.5:** Modell der neuronalen Verschaltung der thermischen Afferenzen.

**Abb. 9.1:** Schema eines Seitenorgans (Amphiden) mit Temperaturrezeptor.

**Abb. 9.2:** Schnitt durch ein Antennenglied eines Schmetterlings mit Triade.

**Abb. 9.3:** Das Grubenorgan der Schlange.

### Teil II:

**Abb. 2.1:** Bauplan für eine Thermode.

**Abb. 2.2:** Die selbst gebaute Thermode.

**Abb. 2.3:** Mit Thermoden ermittelte Warmpunkte und Kaltpunkte.

**Abb. 2.4:** Die „Zauberkiste“ aus dem Drei-Schalen-Versuch.

**Abb. 2.5:** Versuchsaufbau Drei-Schalen-Versuch mit „Zauberkiste“.

## **Tabellen**

### Teil I:

**Tab. 2.1:** Mittelwerte der Kalt- und Warmpunkte je  $\text{cm}^2$  der Haut.

**Tab. 4.1:** Übersicht identifizierter thermosensitiver Ionenkanäle.

**Tab. 7.1:** Wärmeleitzahlen  $\kappa$  einiger Materialien bei 300 K.

**Tab. 7.2:** An der Hautoberfläche erwarteter Temperatursprung  $\Delta T$  (in  $^{\circ}\text{C}$ ).

### Teil II:

**Tab. 1.1:** Auszug aus dem Lehrplan des Landes Rheinland-Pfalz.

## Einleitung

Tagtäglich nehmen wir Temperaturen wahr – Lufttemperaturen, Wassertemperaturen, Objekttemperaturen. Dabei merken wir bisweilen, dass unsere Temperaturempfindung beeinflussbar ist. So hat jeder schon einmal erlebt, dass eiskalte Hände gewöhnliches Leitungswasser deutlich warm empfinden und dass ein Löffel aus Metall wesentlich kälter erscheint als ein daneben stehender Kunststoffbecher. Obgleich wir diese und viele andere Erfahrungen mit der Temperatur gemacht haben, denken wir kaum über unsere Temperaturempfindungen und ihr Zustandekommen nach.

Diese Arbeit setzt sich intensiv mit den physiologischen Grundlagen der Temperaturwahrnehmung auseinander. Dabei werden Parallelen und Unterschiede zwischen der objektiven Reizaufnahme und –verarbeitung im Nervensystem und der subjektiven Empfindung aufgezeigt (Teil I). Außerdem werden fünf schultaugliche Versuche vorgestellt, die verschiedene Aspekte der Temperaturwahrnehmung eindrucksvoll demonstrieren. Die Versuche können im Unterricht als Ansatzpunkt für eine vielschichtige Diskussion des Temperatursinns genutzt werden (Teil II).

Der erste Teil meiner Arbeit gliedert sich in neun Kapitel, die den theoretischen Hintergrund für das Verständnis des Temperatursinns liefern. Nach einer allgemeinen Einleitung in die Grundbegriffe der Sinnesphysiologie (I. 1), stelle ich die Haut und ihre Sinne vor (I. 2). Anschließend gehe ich im Rahmen der objektiven Sinnesphysiologie zunächst auf das Entladungsverhalten der Thermosensoren (I. 3) und dann auf die molekulare und zentralnervöse Verarbeitung von thermischen Reizen ein (I. 4 – I. 5). Daraufhin gebe ich einen Einblick in die subjektive Dimension der Sinnesphysiologie, indem ich die Psychophysik des Temperatursinns darlege (I. 6). In diesem Zusammenhang erläutere ich auch die besondere Fähigkeit des Temperatursinns, aus dem Verlauf von Temperaturänderungen auf das Material von Objekten zu schließen (I. 7). In einem weiteren Kapitel diskutiere ich den Beitrag kutaner Thermosensoren zur

Thermoregulation (I. 8). Um den Bezug zur Biologie zu vertiefen, gehe ich schließlich auf Spezialisierungen des Temperatursinns bei ausgewählten Tierarten ein (I. 9).

Im zweiten Teil dieser Arbeit stelle ich kurz die Bedeutung von Schulversuchen und ganzheitlichem Lernen heraus. Überdies verorte ich das Thema „Temperaturwahrnehmung“ im Lehrplan des Landes Rheinland-Pfalz und den Bildungsstandards (II. 1). Dann präsentiere ich fünf Versuche, in denen die SchülerInnen ihren Temperatursinn und seine physiologischen Grundlagen kennen lernen können. Die Versuche werden unter Rückbezug auf die theoretischen Grundlagen in Teil I ausgewertet (II. 2).