

Protokoll

Ventilation und Zirkulation

Till Biskup

Matrikelnummer: 155567

28. Februar 2000

Einführung

Ventilation und Zirkulation sind zwei eng miteinander verknüpfte Aspekte des Gasaustausches, deren Realisierung bei jedem Organismus, der eine gewisse Größe überschreitet, unabdingbar ist. Als limitierender Faktor tritt hier die Diffusion auf den Plan, die über lange Strecken, insbesondere in flüssigen Medien, extrem langsam abläuft, zumindest zu langsam, als daß sie ein Überleben des Organismus sichern könnte.

Höhere Tiere haben daher im allgemeinen Gasaustausch- und -transportsysteme entwickelt, die diese Funktionen übernehmen. Die Leistung dieser Systeme kann in aller Regel an die aktuell herrschenden Bedingungen angepaßt werden.

1 Herzschlag bei Insekten

Aufgaben

1. Tragen Sie ein "qualitatives" Diagramm die wichtigsten Parameter des Herzschlages bei Insekten in rein qualitativen Einheiten (max., min., vorwärts, zurück, usw.) ein.
2. Vergleichen Sie die hier beobachteten Funktionen des Insektenherzschlages mit dem Herzschlag des Wirbeltierherzens.

1.1 Bewegungszustände des Insektenherzens

	Systole	Diastole	Diastase	presystolic notch
Herzdurchmesser	↓↓	↑↑	=	↑
Ringmuskeln	kontrahiert	relaxiert	relaxiert	dilatiert
Ostien	zu	offen	offen	geschlossen
Herzinnen-/Außendruck	↑↑	↓↓	=	↑
Hämolympfstrom	nach cranial beschleunigt	max. beschleunigt	Verzögerung	leichte Beschl. nach cranial
Alarmmuskulatur	dilatiert	relaxiert	relaxiert	erschläft
dorsales Diaphragma	gespannt	entspannt	gespannt	max. entspannt

1.2 Vergleich des Herzschlages von Insekten und Wirbeltieren

Das Wirbeltierherz kennt im Vergleich zum Insektenherz nur zwei Zustände, Diastole und Systole, es schlägt synchron, das Insektenherz metachron.

2 Die Scaphognathitbewegung bei Krebsen

Aufgabe

1. Tragen Sie die Scaphognathitbewegung gegen den Sauerstoffpartialdruck auf. Welche Abhängigkeit zeigt die Anzahl der Schläge von der Sauerstoffabhängigkeit? Wie sind diese Ergebnisse zu interpretieren?

N ₂ :Luft		0:100	50:50	70:30	80:20	85:15
P_{O_2} /kPa		19.00	9.50	5.70	3.80	2.85
		Schlagfrequenz f/min^{-1}				
Messung	1.	62	98	92	134	172
	2.	60	90	90	130	188
	3.	70	100	88	124	178
	4.	78	81	98	134	180
	5.	70	100	92	136	176
	6.		78	90	110	186
	7.		78	92	118	168
	8.		86	90	128	172
	9.		80	90	120	172
	10.		80	94	126	180
\bar{x}		68	87.1	91.6	126	177.2
Stdabw.		7.2	9.2	2.8	8.2	6.5

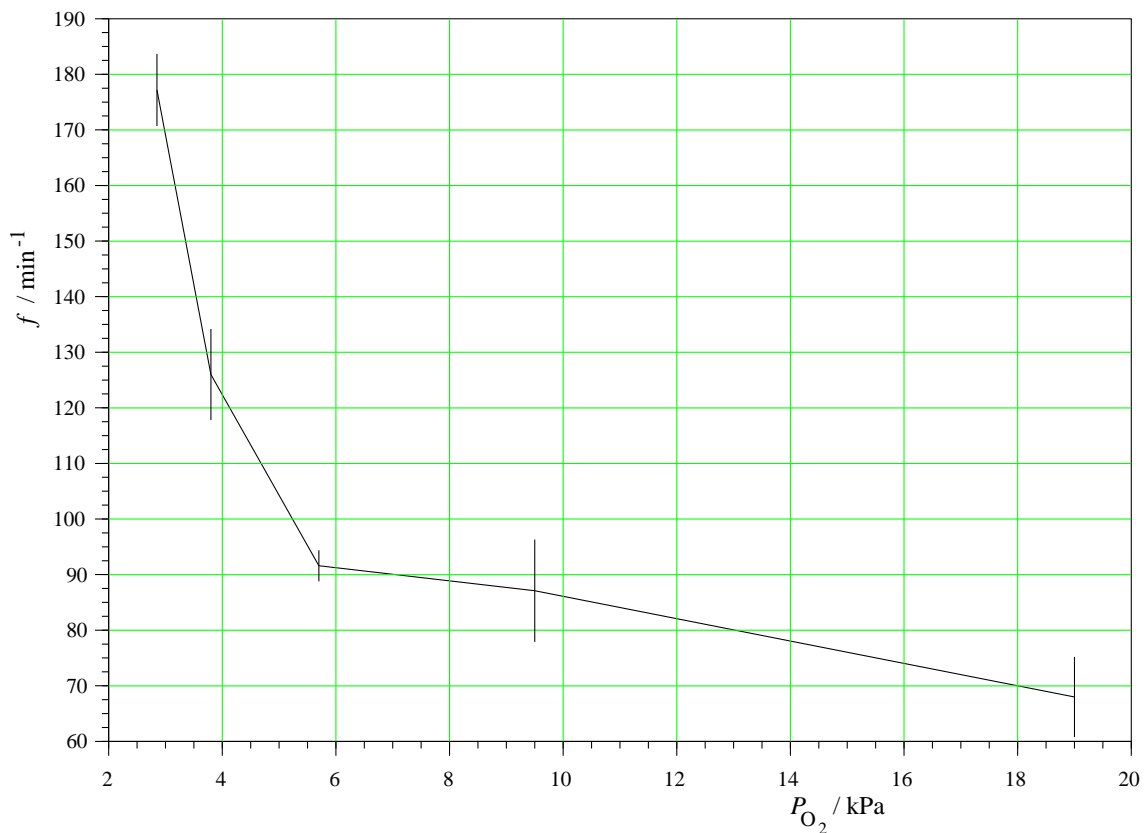


Abbildung 1: Scaphognathitenschlagfrequenz bei verschiedenen Sauerstoffpartialdrücken

Die Frequenz fällt exponentiell mit zunehmendem P_{O_2} . Gleichzeitig ist der Krebs umso ruhiger, je niedriger der P_{O_2} liegt. Beide Befunde lassen sich relativ leicht erklären: Je mehr Sauerstoff im Wasser gelöst ist, genauer, je höher der P_{O_2} ist, desto weniger muß der

Krebs seine Atemhöhle mit den Kiemen ventilieren. Daher sinkt die Schlagfrequenz des Scaphognathiten mit steigendem Sauerstoffpartialdruck. Auf der anderen Seite wird der Krebs vermutlich bei sinkendem P_{O_2} deshalb so ruhig, weil er relativ mehr Energie aufwenden muß, um die für ihn notwendige Sauerstoffversorgung zu gewährleisten.

Inwieweit im konkreten Versuch eine Gewöhnung des Tieres an die Apparatur eine Rolle spielt, sei einmal dahingestellt. Wesentlich für die Schwankungen der Meßwerte der Schlagfrequenz, insbesondere bei hohem P_{O_2} , verantwortlich ist jedoch zweifelsfrei die Aktivität des Krebses, die teilweise jegliche Messung unmöglich machte und die wahrscheinlich auch ihren Einfluß auf die Schlagfrequenz hatte.

3 Wärmeaustauscher

Aufgaben

1. Charakterisierung eines Gleichstromaustauschers
Berechnen Sie aus den Flußraten und den erhaltenen Werten die gesamte Wärmeleitfähigkeit C des Wärmetauschers.
2. Charakterisierung eines Gegenstromaustauschers
Berechnen Sie aus den Flußraten und den erhaltenen Werten die gesamte Wärmeleitfähigkeit C des Wärmetauschers. Welche Aussagen lassen sich über die Effizienz im Vergleich zum Gleichstromaustauscher machen?
3. Wärmerückgewinnung mit einem Gegenstromaustauscher
Welche Organe erkennen Sie, in denen dieses System verwirklicht ist?

3.1 Gleichstromaustauscher

Zur Berechnung der Wärmekapazität C der Wärmeaustauscher wurde zunächst die Flußrate \dot{V} nach der Beziehung

$$\dot{V} = \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot 60} \cdot x = \frac{V_{\text{nach}} - V_{\text{vor}}}{\Delta t \cdot 60} \cdot x \quad [\dot{M}] = \text{g} \cdot \text{min}^{-1} \quad (1)$$

berechnet und daraus anschließend mit Hilfe des Zusammenhanges

$$C = C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \dot{V} \quad (2)$$

die Wärmekapazität für den Wärmetauscher errechnet. Sie ist für alle Wärmeaustauscher gleich und hängt nur von der Flußrate ab.

Für die Errechnung der Temperaturen aus den gemessenen Widerstandswerten kam folgende Formel zum Einsatz:

$$T(R) = a + (b \cdot R) + (c \cdot R^2) + (d \cdot R^3) \quad (3)$$

$$T(R) = 69.43 + (-0.8337 \cdot R) + (0.004277 \cdot R^2) + (-0.000008438 \cdot R^3) \quad (4)$$

Über die Wärmekapazität C der Wärmetauscher und die Temperaturdifferenz ΔT kann man gemäß

$$Q = \frac{-k \cdot A \cdot (T_2 - T_1)}{x} = C \cdot \Delta T \quad (5)$$

auf die Wärmeflußrate schließen, die ihrerseits ein Maß für die Effektivität des Wärmeaustauschers ist.

Für die Diagramme und die von der Flußrate abhängigen Berechnungen kam, soweit nicht anders angegeben, jeweils die erste Flußrate ($\dot{V} = 0.8383$) zum Einsatz.

C in Abhängigkeit von \dot{V}					
\dot{V}	0.8383	1.1177	1.3970	1.6764	2.0955
C	3.509	4.679	5.848	7.017	8.772

Flußrate	0.8383		1.1177		1.397		1.6764		2.0955		
	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	
	Widerstand $R/k\Omega$										
x/cm	0	89.5	109	80.96	116.23	81.8	114.2	70.01	118.25	64.6	123.5
	2.5	96.5	102.6	89.33	107.41	83.3	103.7	78.07	106.3	71.3	110.3
	5	99.7	100.8	94.73	102.62	90.9	98.1	87.18	99.1	82.2	101.2
	7.5	100.5	100.7	96.27	100.79	93.3	96.6	90.07	96.9	85.8	98.3
	10	101.1	100.9	97.17	100.26	94.77	95.7	91.82	85.2	88.1	95.1
	Temperatur $T/^\circ C$										
x/cm	0	23.02	18.44	25.49	17.06	25.23	17.43	29.13	16.70	31.15	15.81
	2.5	21.22	19.80	23.07	18.77	24.78	19.56	26.40	19.00	28.67	18.18
	5	20.46	20.21	21.66	19.80	22.65	20.84	23.66	20.60	25.11	20.12
	7.5	20.28	20.23	21.28	20.21	22.02	21.20	22.87	21.13	24.05	20.79
	10	20.14	20.19	21.06	20.33	21.65	21.42	22.41	21.54	23.41	21.57

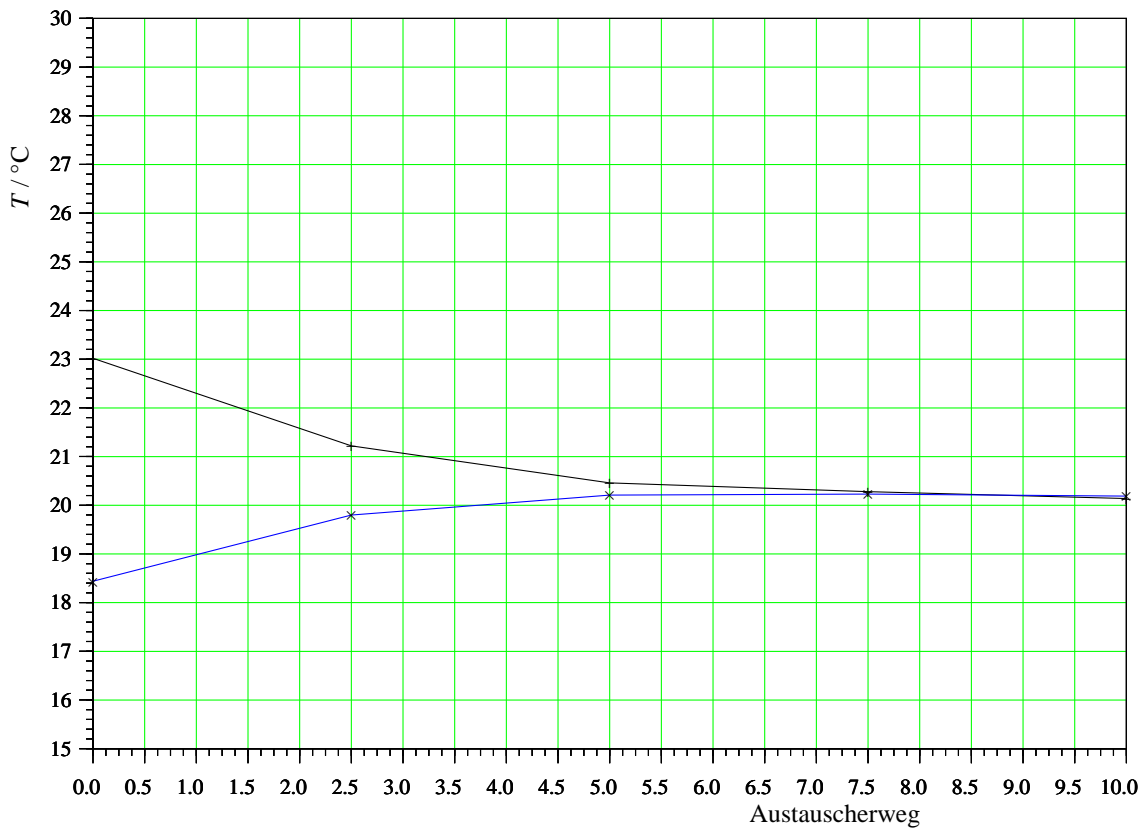


Abbildung 2: Gleichstromaustauscher

3.2 Gegenstromaustauscher

Flußrate	0.8383		1.1177		1.397		1.6764		2.0955		
	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	
Widerstand $R/k\Omega$											
x/cm	0	75.7	82.8	73.4	81.8	66.5	77.73	61.8	75.7	57.8	75.2
	2.5	80.8	89.4	78.4	89.1	71.47	86.84	66.5	86.3	61.7	87.6
	5	87.8	95.3	85.8	95.3	80.3	94.98	76.3	96.1	72.1	99.4
	7.5	93.8	102.8	91.3	103	87.07	105.61	83.4	109.5	79.5	115.9
	10	99.3	109.9	96.5	109.9	93.1	115.08	90.1	121	85.7	129.4
Temperatur $T/^\circ C$											
x/cm	0	27.17	24.93	27.94	25.23	30.42	26.51	32.25	27.17	33.90	27.33
	2.5	25.54	23.05	26.29	23.13	28.61	23.76	30.42	23.91	32.29	23.55
	5	23.49	21.52	24.05	21.52	25.69	21.60	26.97	21.32	28.39	20.53
	7.5	21.90	19.76	22.54	19.71	23.69	19.15	24.75	18.34	25.94	17.12
	10	20.55	18.26	21.22	18.26	22.07	17.27	22.86	16.22	24.08	14.88

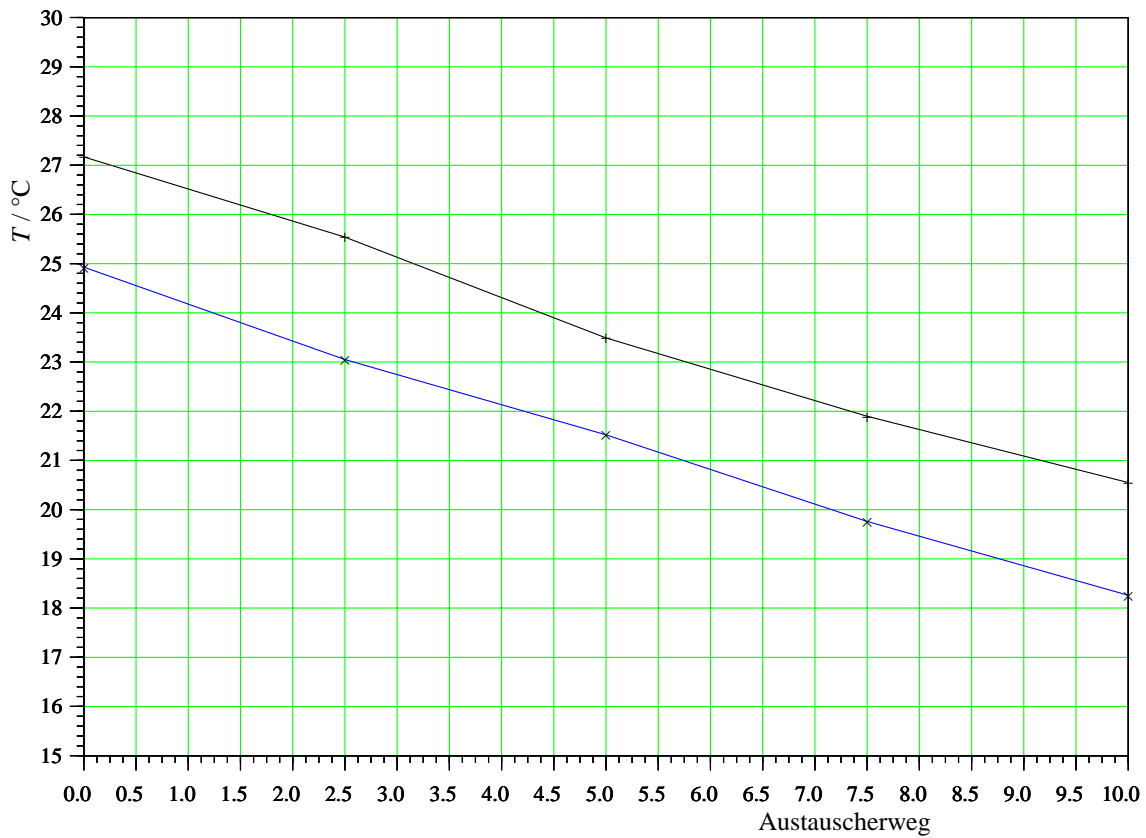


Abbildung 3: Gegenstromaustauscher

Im Vergleich zum Gleichstromaustauscher ist der Gegenstromaustauscher wesentlich effektiver. Das liegt darin begründet, daß durch die entgegengesetzte Fließrichtung des Wassers in diesem Wärmetauscher das Konzentrationsgefälle über die ganze Zeit möglichst groß gehalten wird.

3.3 Wärmerückgewinnung mit einem Gegenstromaustauscher (Haarnadelaustauscher)

Flußrate	0.8383		1.1177		1.397		1.6764		2.0955		
	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	
Widerstand $R/k\Omega$											
x/cm	0	74.1	83.7	72.8	83.38	67.6	81.85	62.75	79.5	58.4	78
	2.5	78.8	90.7	79.54	94.16	74.1	94.3	68.7	93	63.3	92.2
	5	85.6	99.2	89.43	106.37	85.4	108.5	80.45	108.35	75.1	107.9
	7.5	93.1	110.9	98.72	120.82	95.6	124.1	90.15	124.4	83.7	123.8
	10	100.7	127.5	107.3	138.16	104.5	141.5	98.75	141.6	91.4	139.9
Temperatur $T/^\circ C$											
x/cm	0	27.70	24.66	28.15	24.76	30.01	25.22	31.87	25.94	33.65	26.42
	2.5	26.16	22.70	25.93	21.80	27.70	21.77	29.60	22.10	31.65	22.31
	5	24.11	20.58	23.04	18.99	24.17	18.55	25.65	18.58	27.37	18.67
	7.5	22.07	18.07	20.69	16.25	21.44	15.71	22.85	15.66	24.66	15.76
	10	20.23	15.17	18.79	13.63	19.39	13.19	20.68	13.18	22.52	13.40

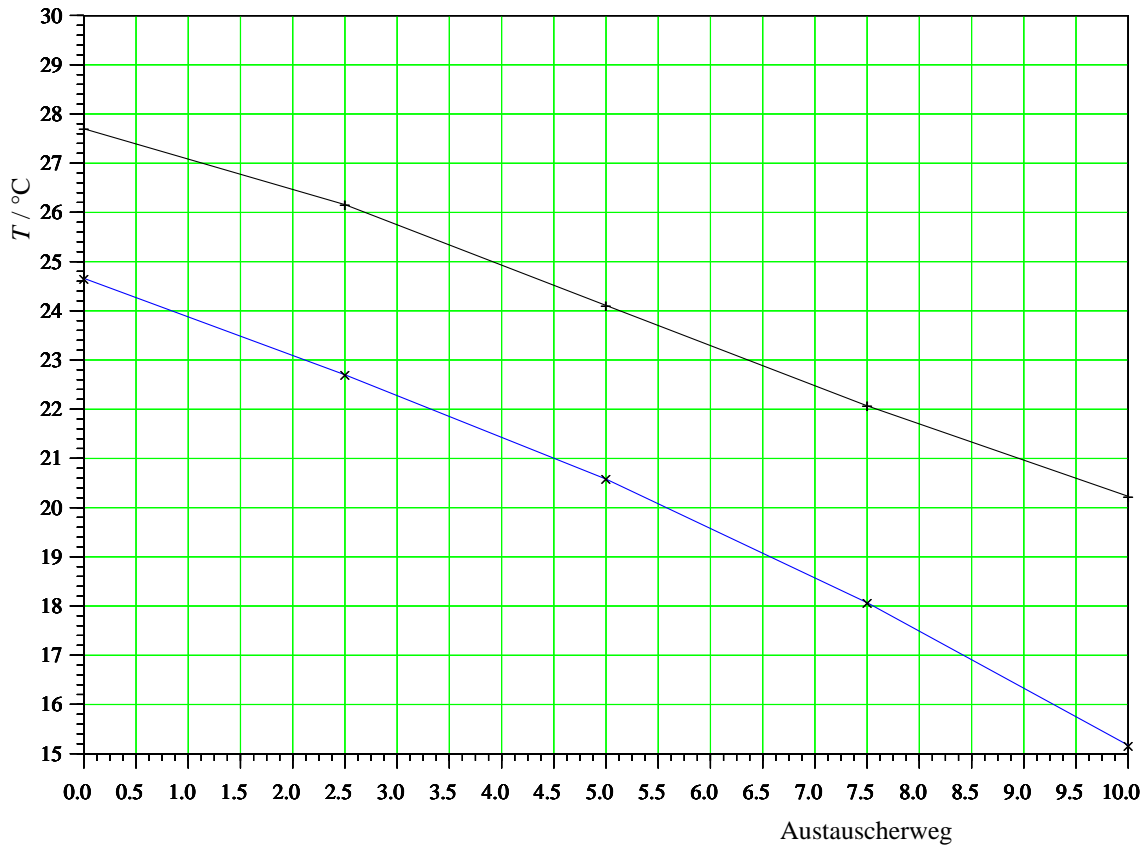


Abbildung 4: Wärmerückgewinnung mit einem Gegenstromaustauscher

Wie nicht anders zu erwarten, ist der Haarnadelaustauscher das effektivste Austauschsystem, da bei ihm noch ein zusätzlicher zweiter Austauscher im Kreislauf integriert ist. Ein zusätzlicher Vorteil ist, daß dieses System mit nur einer Pumpe betrieben werden kann.

Beispiele im Tierreich finden sich überall dort, wo entweder Wärme bewußt abgegeben werden oder ihr unumgänglicher Verlust möglichst minimiert werden soll. So sind Extremitäten allgemein ein solcher Austauscher. So fließt etwa beim Bein warmes Blut aus dem Körper in das Bein, kühlt sich hier durch die kältere Umgebung ab und wird beim Zurückströmen durch die enge Nachbarschaft der Arterien und Venen vom warmen, arteri-

ellen, aus dem Körper kommenden Blut wieder gewärmt. Gleichzeitig wird durch die somit erfolgende Abkühlung des arteriellen Blutes die Temperaturdifferenz zur Umgebung und damit der Wärmeverlust verringert.

3.4 Diskussion

Abschließend sei als Maß für die Effektivität der drei Wärmetauscher ihre jeweilige Wärme­flußrate in einer Tabelle gegenübergestellt. Hier wird noch einmal deutlich, was schon an den Graphen zutage trat, nämlich daß der Gleichstromaustauscher das uneffektivste, der Haarnadelaustauscher das effektivste System ist. Aufgrund der großen Ähnlichkeiten im prinzipiellen Aufbau liegen die Werte für den Gegenstrom- und den Haarnadelaustauscher sehr dicht beieinander. Damit korreliert ist auch ihre prinzipiell identische Charakteristik im Austauschdiagramm.

Effektivität der Wärmetauscher		
Typ	ΔT	Q
Gleichstromaustauscher	2.88	12.06
Gegenstromaustauscher	6.62	27.71
Haarnadelaustauscher	7.47	31.27