

## Inhalt

1. Einleitung .....	1
1.1 Leitfragen .....	2
1.2 Hypothese .....	2
2. Allgemeine Theorie .....	3
2.1 Wärme.....	3
2.2 Grundlagen zu Desktop PCs .....	8
2.3 Kühlung von PC's .....	10
2.4 Übertaktung von AMD Prozessoren .....	13
2.5 Bau des ölgekühlten PCs .....	16
3. Experimente .....	18
3.1 Luftkühlung.....	19
3.2 Kurzzeitexperiment Ölkühlung.....	22
3.3 Langzeitexperiment Ölkühlung .....	24
3.4 Übertaktung.....	27
4. Diskussion.....	30
4.1 Beantwortung der Leitfragen .....	31
4.2 Aussicht.....	32
5. Schlusswort.....	33
6. Glossar.....	34
7. Quellen.....	35
7.1 Literatur .....	35
7.2 Internet-Quellen.....	35
7.3 Bilder .....	35
7.4 Tabellen .....	36
8. Danksagung .....	37
9. Anhang.....	38
9.1 Bilder .....	38

---

## **Vorwort**

Als ich mich für das Thema meiner Maturarbeit entscheiden musste, wusste ich nicht genau mit welchem Thema ich mich auseinandersetzen soll. Da ich mich in meiner Freizeit viel mit dem Computer beschäftige und mich der Computer immer wieder aufs Neue fasziniert, dachte ich mir, ich könnte doch etwas aus diesem Gebiet behandeln. Beim Computer gibt es unendlich viele Fragestellungen, die man behandeln könnte, doch ich musste mich für eine entscheiden. Ich habe mich gefragt ob ich etwas Soft- oder Hardwaretechnisches machen soll. Mit dem Programmieren kenne ich mich eher wenig aus. Hingegen habe ich schon meinen eigenen PC, sowie die PCs meiner Freunde zusammengebaut. Daher entschied ich mich für die Hardware. Auf die Idee mit der Ölkühlung bin ich durch Zufall beim Surfen im Internet gestossen.

---

## 1. Einleitung

Letztes Jahr hat ein Klassenkamerad seine Maturarbeit über Notebook-Kühlung gemacht. Inspiriert von seiner Idee kam mir der Gedanke, ich könnte versuchen, eine eigene Kühlung zu entwickeln. Denn mich hat die Erhöhung der Zimmertemperatur durch die Abluft des Computers schon lange gestört.

Bei hoher Belastung bei Computerspielen wird der PC zu heiss. Diese Abwärme ist ein hoher Energieverlust, wenn man bedenkt, dass die ganze Leistung, die der PC aufnimmt in Wärme umgewandelt und für nichts genutzt wird.

Die erste Idee war, den PC unter Wasser zu setzen und ihn zum Laufen zu bringen. Der Vorteil davon wäre, dass man kein kompliziertes Wasserkühlungssystem brauchen würde, sondern der ganze Behälter, in dem das Wasser ist als Kühlkörper fungieren würde. Was eine Wasserkühlung ist wird später noch explizit erklärt. Nach einer Unterhaltung mit meinem Chemielehrer wurde mir klar, dass dies nicht möglich ist. Destilliertes Wasser löst aus allen umherliegenden Komponenten Ionen. Dadurch wird das Wasser wieder leitfähig, was dann zu einem Kurzschluss führen würde. Ich hab mich daraufhin informiert, durch welchen Stoff man das Wasser ersetzen könnte. Auf einigen Foren im Internet bin ich auf eine Lösung gestossen. Man könnte das Wasser durch Öl ersetzen. Dieses leitet keinen Strom, ist also ein guter Isolator, was bei meinem Vorhaben sehr günstig ist. Dadurch wäre es möglich durch die Abwärme des Computers das Öl zu erwärmen und dadurch zwei Vorteile zu erreichen.

Der erste wäre: Man hat eine bessere Kühlung.

Der zweite wäre: Man kann das erwärmte Öl zum Heizen verwenden oder im Sommer aus dem Büro wegleiten, wodurch sich der Raum nicht mehr so stark erwärmt.

## 1.1 Leitfragen

Um einen Leitfaden in meiner Maturaarbeit zu haben, habe ich einige Leitfragen formuliert, welche mich durch die Arbeit leiten. Diese wären:

Ist es mit meinen Vorkenntnissen möglich einen ölgekühlten Desktop-PC mit allgemein verfügbaren Materialien zu realisieren?

Wie verändert sich die Temperatur des Prozessors dieses Computers in Ruhe und unter Volllast?

Ist es möglich den ölgekühlten PC längerfristig stabil zu betreiben?

Ermöglicht die Ölkühlung des Computers eine tiefere Temperatur bei Volllast des Prozessors im Vergleich zu einem luftgekühlten Computer.

Falls die Kühlleistung durch die Ölkühlung verbessert wird, lässt sich dadurch eine Übertaktung des Prozessors realisieren?

Wie verbessert sich die Leistungsfähigkeit des PCs?

Wie lässt sich die gesteigerte Leistungsfähigkeit messen?

Ist eine ölgekühlte Übertaktung ökologisch sinnvoll?

## 1.2 Hypothese

Die Leistung von Computern ist limitiert durch die schlechte Kühlung des Prozessors. Bei einer standardisierten Luftkühlung wird die Wärme zu schlecht an die Umgebung abgegeben. Mithilfe einer effizienteren Ölkühlung, kann dank Übertaktung des Prozessors die Leistung des PCs erhöht werden ohne neue Hardwareanschaffung.

## 2. Allgemeine Theorie

### 2.1 Wärme

Wärme ist die Bewegung der kleinsten Teilchen der Materie. Durch die Bewegung von Atomen und Molekülen nehmen wir die Wärme wahr. Dadurch wird kinetische Energie erzeugt bzw. erhöht, welche man dann als Wärme empfindet. Dies geschieht in Gasen und Flüssigkeiten, sowie auch in Festkörpern wo die Atome im festen Gitter schwingen. Je mehr Energie ein solches Molekül oder Atom hat, desto schneller ist die Schwingbewegung und desto höher die Temperatur.

Bei der Problemlösung der unzureichenden Kühlung des erwärmten Haupt- und Grafikprozessors sind vier physikalische Effekte von grosser Bedeutung: Wärmeleitung, Wärmeübergang, Konvektion und Wärmekapazität.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> <http://www.cosmiq.de/qa/show/2050555/Was-ist-die-Definition-von-Waerme/>

### 2.1.1 Wärmeleitung

Unter Wärmeleitung versteht man die Weiterleitung der Wärmeenergie innerhalb eines Körpers infolge eines Temperaturunterschieds. Je höher die Temperatur an bestimmten Stellen ist, desto mehr Energie besitzen die jeweiligen kleinsten Teilchen. Die energiereicheren kleinen Teilchen übertragen ihre Energie auf die Nachbarteilchen mit niedrigerer Energie. Dies führt zu einer Leitung der Energie vom Energie reicheren Ort zum Energie ärmeren Ort. Von grosser Bedeutung bei der Berechnung ist die Konstante  $\lambda$ , mit deren Hilfe man definiert, wie gut ein Material leiten kann. Materialien mit hohen Werten für  $\lambda$ , wie zum Beispiel Metalle, leiten die Wärme gut. Materialien mit tiefen Werten, wie zum Beispiel (Plexi)glas und Wasser, leiten die Wärme schlecht. Diese werden als Isolatoren bezeichnet. In der physikalischen Gleichung für die Wärmeleitung wird von einem Materialstab ausgegangen, bei welchen die beiden Enden eine Temperaturdifferenz  $\Delta T$  haben. Je grösser der Temperaturunterschied, desto grösser ist die transportierte Wärmemenge. Des Weiteren spielen noch die Querschnittsfläche  $A$ , die Länge  $l$  und die Zeit  $t$  eine Rolle. Wird die Querschnittsfläche oder die Zeit vergrössert bzw. erhöht, erhöht sich proportional auch die transportierende Wärmemenge. Erhöht man die Länge verkleinert sich proportional die transportierte Wärmemenge.<sup>2</sup>

$$Q = \frac{\lambda \cdot A \cdot t \cdot \Delta T}{l}$$

$Q$	transportierte Wärmemenge,
$A$	Querschnittsfläche des Leiters,
$t$	Zeit, Dauer der Wärmeleitung,
$\Delta T$	Temperaturdifferenz zwischen Anfang und Ende des Wärmeleiters,
$l$	Länge des Wärmeleiters, auf der die Temperaturdifferenz herrscht,
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit des Materials (z.B. Gold: $312 \frac{W}{m \cdot K}$ )

<sup>2</sup> Kuchling, Horst (1996): Taschenbuch der Physik, München Wien Carl Hanser Verlag

### 2.1.2 Wärmeübergang

„Flüssige oder gasförmige Körper, die mit einem festen Körper anderer Temperatur in Berührung kommen, geben Wärme an ihn ab oder übernehmen sie von ihm. Diese Übertragung nennt man Wärmeübergang.“<sup>3</sup> Der Unterschied zur Wärmeleitung besteht darin, dass der Vorgang nicht mehr innerhalb eines Körpers stattfindet, sondern mindestens zwei Körper daran beteiligt sind und dass die Oberflächenbeschaffenheit wie Struktur und Farbe eine Rolle spielen. So wird ein schwarzer Körper schneller warm als ein weisser. Das erkennt man am besten im Sommer, wenn man ein schwarzes T-Shirt trägt und an der Sonne deutlich schneller schwitzt, als der Kollege im weissen T-Shirt.<sup>4</sup>

$$Q = \alpha \cdot A \cdot t \cdot \Delta T$$

$Q$	Wärmemenge, die durch die Grenzfläche tritt,
$A$	Grösse der Übergangsfläche,
$t$	Zeit, Dauer des Wärmeübergangs,
$\Delta T$	Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche des festen Körpers und des angrenzenden Mediums,
$\alpha$	Wärmeübergangskoeffizient $\left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$

### 2.1.3 Konvektion

Beim gleichzeitigen Transport von Materie und Wärmeenergie spricht man von Konvektion oder Wärmeströmung. Die freie Konvektion entsteht durch Dichteunterschiede infolge von Temperaturunterschieden zweier gleicher Materialien. Erzwingt man diesen Wärmetransport mithilfe von Ventilatoren, Pumpen und anderen äusseren Kräften, nennt man dies erzwungene Konvektion.<sup>3</sup>

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$Q$	Wärmemenge, die vom Medium transportiert wird,
$m$	Masse des Mediums, das Energie aufnimmt,
$c$	spezifische Wärmekapazität des Mediums $\frac{k \cdot J}{kg \cdot K}$
$\Delta T$	Temperaturdifferenz, um die das Medium erwärmt wird

<sup>3</sup> Kuchling, Horst (1996): Taschenbuch der Physik, München Wien Carl Hanser Verlag, S. 314

<sup>4</sup> Kuchling, Horst (1996): Taschenbuch der Physik, München Wien Carl Hanser Verlag

### 2.1.4 Wärmekapazität

Die zum Erwärmen des Körpers um 1 Kelvin erforderliche Wärmemenge nennt man Wärmekapazität  $C$ . Die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes bezeichnet die auf die Masse bezogene Wärmekapazität. Die Wärmekapazität eines Behälters voller Öl berechnet sich folgendermassen:

Masse des Öls multipliziert mit der spez. Wärmekapazität ergibt die Wärmekapazität des gesamten Öls im Behälter.

$$C = c \cdot m$$

$C$	Wärmekapazität des Körpers,
$c$	Spezifische Wärmekapazität des Stoffes $\frac{kJ}{kg \cdot K}$
$m$	Masse des Körpers

Ich habe von einigen verschiedenen Ölen die spezifischen Wärmekapazitäten in Joule pro Kilogramm mal Kelvin angegeben:

**Tabelle 1** Spez. Wärmekapazitäten von verschiedenen Materialien

Material	Spez. Wärmekapazität
Wasser	4187
Luft	1005
Heizöl	2070
Olivenöl	1970
Schmieröl-Mineral	2090
Transformatoröl	2090
Weissöl	1900

Zum Vergleich ist zusätzlich die spez. Wärmekapazität von Wasser und Luft aufgeführt. Wasser hat eine relativ hohe und Luft eine tiefe Wärmekapazität im Vergleich zu den Ölen. Der grosse Nachteil von destilliertem Wasser ist, dass es Ionen aus den umgebenen Stoffen ionisiert, weshalb es nicht als Kühlmittel in Frage kommt. Der Hauptnachteil bei Luft ist, dass die spez. Wärmekapazität gering ist.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Kuchling, Horst (1996): Taschenbuch der Physik, München Wien Carl Hanser Verlag



### 2.1.5 Physikalische Eigenschaften der Kühlmittel Luft und Öl

Bei meiner Maturarbeit werde ich wie schon angedeutet, die Luftkühlung durch eine Ölkühlung ersetzen. Die Wärmeleitfähigkeit von Öl liegt bei 0,13-0,15. Die von Luft bei  $0,0262 \frac{W}{m \cdot K}$ .<sup>6</sup> Öl leitet somit die Wärme ca. sieben Mal besser als Luft. Die Luft transportiert ihre Wärme durch Konvektion, da sich die kleinsten Teilchen durch Bewegung gegenseitig anstossen und somit Wärme übertragen. Bei Öl ist wiederum die Wärmeleitfähigkeit wichtiger, weil die Wärme, nicht wie bei der Luft über Konvektion, sondern durch die Wärmeleitung transportiert wird. Des Weiteren spielt beim Öl die Wärmekapazität eine wichtige Rolle. Diese sagt aus wie gut das Öl Wärme aufnehmen kann und wie schnell diese Wärme dann verteilt werden kann. Wärmeübergang findet im Computer zwischen der CPU und dem Kühlmedium (Luft, Wasser oder Öl) statt. Die Wärme wird z.B. vom Öl aufgenommen, durch die Wärmeleitung verteilt und an die Umgebung abgegeben.

### 2.1.6 Auswahl des geeigneten Öles

Um ein geeignetes Öl zu finden, werden die bestgeeignetsten Eigenschaften zusammengetragen. Das zu verwendende Öl muss folgende Anforderungen erfüllen: Es sollte einen Flammpunkt über 130 °C haben und es sollte stabil bleiben (Es darf nicht ranzig werden, wie z.B. Sonnenblumenöl). Die Wärmekapazität sollte über 1800 J/(kg \* K) liegen um eine möglichst hohe Wärmeaufnahmefähigkeit zu haben. Des Weiteren sollte es möglichst billig, geruchslos und farblos sein. Diese Kriterien erfüllt Rinatol Transformatoren- und Schalteröl (unlegiert, absolut wasserfrei, mit hoher Alterungsstabilität und sehr tiefen Pourpoint, Giftklassefrei und frei von PCB) auf der Basis von Mineralöl WTO. Die Vorteile an diesem Öl sind der Preis, die Nichtleitfähigkeit, die hohe Wärmekapazität, eine Viskosität wie Wasser und der hohe Flammpunkt. Die Nachteile sind, dass das Öl nicht geruchslos und nicht farblos ist. Dies stört aber nur unwesentlich.

---

<sup>6</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit>

## 2.2 Grundlagen zu Desktop PCs

### 2.2.1 Aufbau

Um den Aufbau des Computers zu verdeutlichen, wurde der Computer zweimal fotografiert; einmal mit dem AMD Boxed CPU Kühler und der Grafikkarte (Abb.1) und einmal ohne diese beiden Komponenten (Abb.2). Die Nummern in den Klammern referenzieren das beschriebene Objekt in den Abbildungen.

Das Herz des Computers ist der Hauptprozessor, kurz CPU (1b). Er dient zur Verarbeitung der Daten, welche im Arbeitsspeicher (7) zwischengespeichert werden. Die CPU muss gekühlt werden. Dafür wird bei einem Standard-Computer ein Luftkühler (1a) verwendet. Neben dem CPU-Kühler, gibt es Gehäuse-Lüfter, welche Luft in den PC rein-(5b) und rausblasen (5a). Somit entsteht ein gut durchlüfteter PC. Die Grafikkarte (2a) stellt diese Informationen mithilfe eines Monitors dar. Sie verfügt über einen eigenen Luftkühler (2b), wie die CPU. Die Grafikkarte wird in einen PCIe 16x Slot (2c) gesteckt, welcher auf dem Mainboard (6) liegt. Das Mainboard verbindet alle Komponenten miteinander. Es ist zu vergleichen mit den Blutbahnen bzw. Nervenbahnen des Menschen. Die Grafikkarte ist dadurch nicht fest auf dem Mainboard verbaut und kann, bei Beschädigung oder für die Leistungssteigerung, ausgetauscht werden. Die verarbeiteten Daten müssen irgendwo gespeichert werden. Da kommt die Festplatte (3), kurz HD (Harddisk), ins Spiel. Sie ist sozusagen das Gedächtnis des Computers. Das Netzteil (4) ist dafür zuständig, dass alle Komponenten des Computers genügend Strom erhalten.



**Abb. 1** Aufbau Computer mit CPU-Kühler und Grafikkarte



**Abb. 2** Aufbau Computer ohne CPU-Kühler und Grafikkarte

### 2.2.2 Maximale Verlustleistung<sup>7</sup>

Ein durchschnittlicher Computer verbraucht maximal 300W-1000W ohne Bildschirm. Der normale Verbrauch beläuft sich zwischen 100W bis 300W. Der Bildschirm wird separat an das Stromnetz angeschlossen und verbraucht ca. 40W. Die Energie beim Computer wird vom Netzteil in Gleichstrom aufgenommen, in die einzelnen Komponenten in Niederspannung weitergeleitet und dort vollständig in Wärme umgewandelt, da der Computer ja keine Energie speichert oder in einer anderen Form abgibt. Das Netzteil hat eine Effizienz von 80-90%. Die restlichen 10-20% werden direkt im Netzteil in Wärme umgewandelt. Am meisten Wärme geben die CPU und der Grafikprozessor (GPU) ab. Die maximale Verlustleistung (TDP, Thermal Design Power) ist von CPU zu CPU unterschiedlich, sie liegt bei den neueren Prozessoren zwischen 45W und 130W<sup>8</sup> (Core i7-980X Extreme Edition, Sechs-Kern-Prozessor). Bei den Grafikkarten schwankt die TDP von 50W und 294W<sup>9</sup> (ATI Radeon HD5970). Bei High-End PCs werden bis zu vier Grafikkarten verbaut, welche durch SLI oder CrossFire verbunden sind. Dadurch entsteht die enorme Leistungsaufnahme von 1000 Watt. Da beim Normalbetrieb des PCs die Grafikkarte nahezu nie zu 100% ausgelastet wird, sondern sich im idle Modus befindet, hat in der Regel die CPU eine höhere Verlustleistung. Die TDP von Mainboards mit Onboard-Devices liegt bei ca. 10W, die von Festplatten bei ca. 5-10W und die von jedem Arbeitsspeicherriegel bei etwa 2W.<sup>10</sup>

---

<sup>7</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Tdp>

<sup>8</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_CPU\\_power\\_dissipation](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_CPU_power_dissipation)

<sup>9</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/ATI-Radeon-HD-5000-Serie#Leistungsaufnahmedaten>

<sup>10</sup> <http://www.meisterkuehler.de/content/energierechner-fuer-computer-79.html>

## 2.3 Kühlung von PC's

### 2.3.1 Luftkühlung

Die Luftkühlung ist die einfachste und die meisteingesetzte Kühlung bei PC's. Gekühlt werden damit alle Komponenten des PC's. Meistens wird auf der PC Vorderseite (beim Frontpanel) und auf der Rückseite ein Lüfter eingebaut. Diese werden so eingestellt, dass der vordere die kühle Luft einsaugt und der hintere die erwärmte Luft aus dem Gehäuse bläst. Optional werden am Seitenpanel und zwischen dem Netzteil und den 5,25 Zoll Schächten Lüfter eingebaut. Dies ist nicht immer möglich, weil die Einbaumöglichkeit nicht gegeben ist. Die CPU und die GPU haben desweiteren eigene Lüfter, welche die erwärmten Prozessoren direkt kühlen. Bei optimaler Kühlung wird der kalte Luftstrom durch die erwärmte Luft im inneren des Gehäuses erwärmt und von den restlichen Lüftern nach draussen transportiert. Um dies zu verdeutlichen habe ich eine Grafik hinzugefügt:

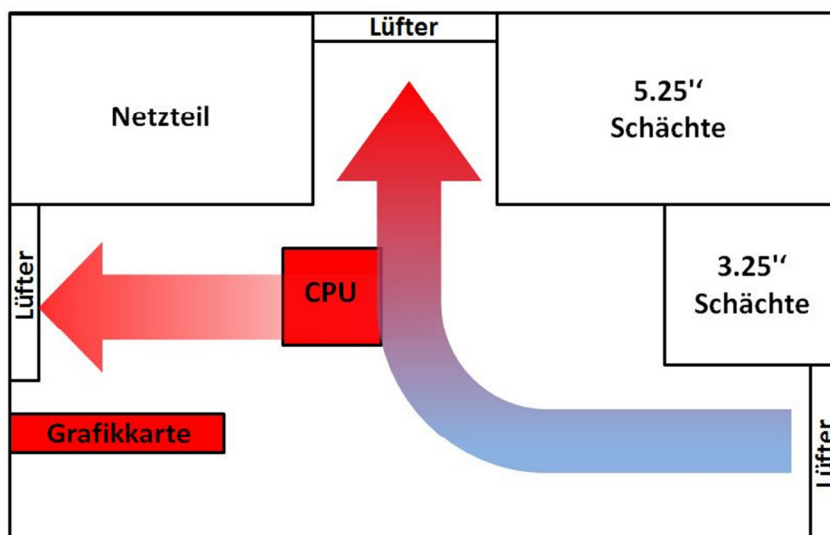


Abb. 3 Luftstrom Luftkühlung

Der blaue Teil des Pfeiles ist die kalte Luft, welche durch den Lüfter unten rechts (Abb. 3) eingesogen wird. Die Luft wird durch den Hauptprozessor (CPU) und die Grafikkarte (GPU) erwärmt und von den anderen beiden Lüftern hinausgeblasen.

Die Probleme bei einer Luftkühlung sind zum einen eine hohe Lautstärke der Lüfter (vor allem die CPU und GPU-Lüfter) und die nicht allzu starke Kühlleistung. Diese Probleme lassen sich durch Dämmmatten welche man ins Gehäuse einbaut und durch eine monatliche Reinigung der Lüfter verringern. Die Reinigung verhindert den Leistungsnachlass durch Verschmutzung der Rotorblätter beim Lüfter und die Dämmungsmatten verringern die Lautstärke des Computers.

### 2.3.2 Wasserkühlung

Früher wurde die Wasserkühlung ausserhalb des Gehäuses aufgebaut. Damals war es auch üblich, die Komponenten selbst herzustellen und eine normale Aquarium Pumpe zu benutzen. Heutzutage können für die meisten Prozessoren alle Komponenten gekauft werden und haben in einem Big Tower-Gehäuse Platz. Für Mini-PCs gibt es auch schon Wasserkühlungen, welche aber nicht viel kühlleistungsfähiger sind als normale Luftkühlungen. Es wird destilliertes Wasser verwendet, falls irgendwo ein Leck entsteht und das Wasser ausläuft. Dies würde zu einem Kurzschluss und zu Prozessorschäden führen. Bei einem Leck können natürlich trotzdem Schäden entstehen, obwohl man destilliertes Wasser verwendet hat, welche durch die so verursachte verschlechterte oder aussetzende Kühlung zustande kommen (Überhitzung des Prozessors).

#### *Passive Wasserkühlung*

Wie der Name schon sagt, verwendet man bei der Wasserkühlung Wasser zur Kühlung der entstehenden Wärme. Der CPU-Kühler und der Grafikkartenkühler werden ausgebaut. Stattdessen werden Kühlkörper (Abb. 4) darauf montiert.

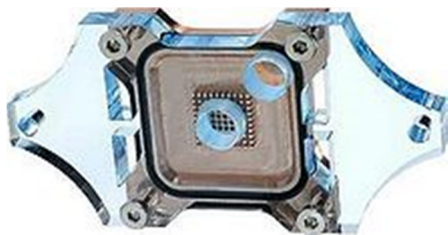


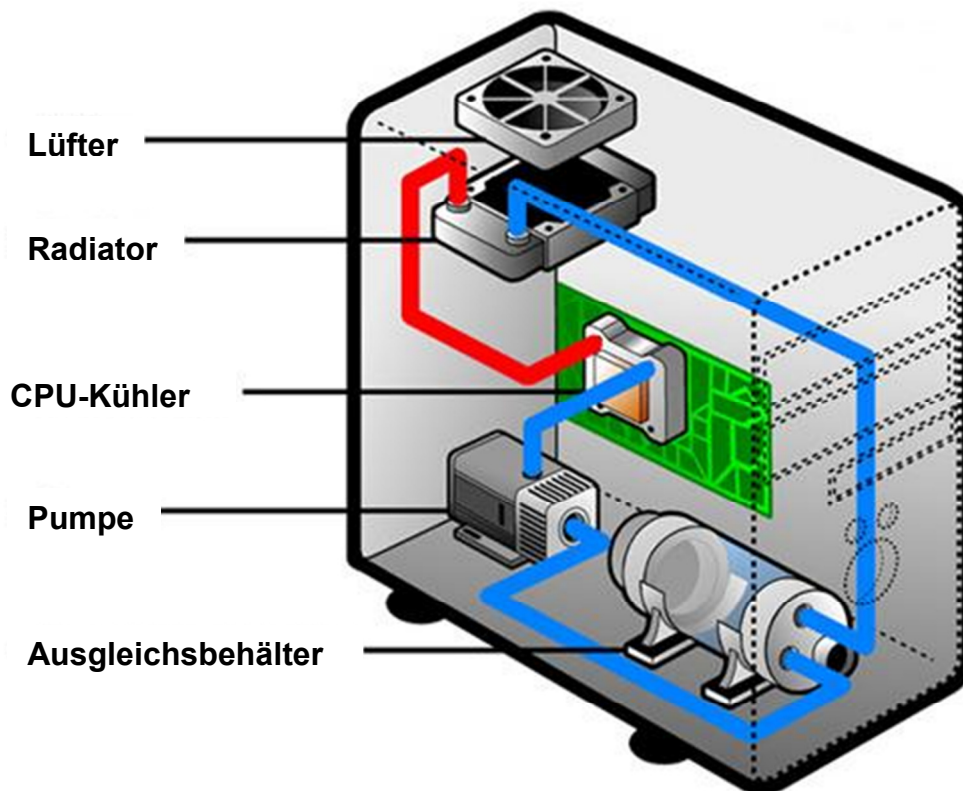
Abb. 4 Wasserkühlkörper für CPU

Kühlkörper können auf alle Komponenten montiert werden welche Wärme produzieren, also auch auf Festplatten und Arbeitsspeicherriegeln. Diese sind durch Schläuche mit der Pumpe verbunden, welche das destillierte Wasser durch die Kühlkörper und dann zum Radiator pumpt. Dort wird die Kühlwasserwärme an die Umgebungsluft abgegeben. Danach kommt das gekühlte Wasser in einen Ausgleichsbehälter und von dort aus wird es wieder zur Pumpe befördert. Alle Elemente der Wasserkühlung werden hintereinander gekoppelt. Dadurch wird ein gleichmässiger Durchfluss sichergestellt.

### **Aktive Wasserkühlung**

Die aktive Wasserkühlung unterscheidet sich nur in einem Detail zur passiven Wasserkühlung. Bei der Aktiven werden am Radiator 1 bis 4 Lüfter angehängt, welche das Wasser zusätzlich kühlen. Dadurch entsteht eine klar stärkere Wasserkühlung. Diese eignet sich für die Übertaktung des Prozessors sehr gut.

Um eine Wasserkühlung zu verdeutlichen habe ich eine Skizze gezeichnet:



**Abb. 5** Aufbau Wasserkühlung

## 2.4 Übertaktung von AMD Prozessoren

Ziel der Übertaktung ist, einen höheren Prozessortakt zu erreichen. Ist der Prozessortakt erhöht, erreicht man mehr Rechenoperationen pro Zeit. Am besten dazu geeignet sind der Haupt und der Grafikprozessor. Der Nachteil daran ist eine höhere Energieaufnahme und eine dadurch höhere entstehende Wärmeentwicklung. Das ist einer der Gründe, warum man einen Prozessor nicht bis ins unendliche übertakten kann. Die Kühlung reicht dazu nicht aus. Ein weiterer Grund ist, dass die einzelnen Komponenten nicht für eine solch hohe Frequenz gebaut wurden und deshalb fehlerhafte und unvollständige Informationen senden. Ich werde bei meiner Maturarbeit nur den CPU-Takt erhöhen und lasse den GPU-Takt ausser Acht. Die folgenden Einstellungen werden alle im BIOS gemacht. Dieses erreicht man, wenn man nicht Windows bootet, sondern ins BIOS eingreift. Dieser Vorgang ist von Mainboard zu Mainboard unterschiedlich. Der CPU-Takt errechnet sich durch folgende Multiplikation:

$$\text{CPU-Takt} = \text{Referenztakt} * \text{CPU Multiplikator}$$

Der CPU-Takt ist die Frequenz, mit welcher der Hauptprozessor arbeitet. Der Referenztakt ist die Frequenz, mit welcher der Kern arbeitet. Der CPU-Multiplikator ist eine Zahl, welche angibt, wievielfach der Referenztakt auf dem ganzen Prozessor ausgeübt wird. Aus der Gleichung ersichtlich ergeben sich zwei Möglichkeiten den CPU-Takt zu erhöhen. Die erste ist, den CPU-Multiplikator zu erhöhen. Da aber bei den meisten Prozessoren diese Möglichkeit gesperrt ist, weil der Multiplikator von Werk aus blockiert ist, muss man meistens die schwerere, zeitaufwendigere Möglichkeit anwenden, bei welcher der Referenztakt erhöht wird. Der Multiplikator sagt aus, mit welcher Zahl der Referenztakt multipliziert wird, um den CPU-Takt zu erreichen.

Zusätzlich zu beachten ist der Hypertransporttakt (HT), der für die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten zuständig ist und bei AMD Athlon 64 CPUs nicht über 1000MHz steigen darf, da der Prozessor sonst instabil wird. Der HT errechnet sich folgendermassen:

$$\text{Hypertransporttakt} = \text{HT Multiplikator} * \text{Referenztakt}$$

Weil man meistens den Referenztakt erhöhen möchte, um einen hohen CPU-Takt zu erreichen, muss man den HT Multiplikator heruntersetzen, um die vorgegebenen 1000MHz nicht zu übersteigen. Der HT wird durch die Verminderung der HT

Multiplikators ebenfalls vermindert. Falls man aber den CPU Multiplikator zum Übertakten erhöht, muss man den HT-Takt nicht beachten.

Der RAM-Takt wird folgendermassen gerechnet:

$$\text{RAM-Takt(übertaktet)} = \text{CPU-Takt(übertakteter Wert)} / \text{RAM Teiler}$$

Er darf die vorgeschriebene Standarttaktung nicht übersteigen. Diese ist durch die Beschriftung festgelegt. Die Standarttaktung ist bei DDR (**D**ouble **D**ata **R**ate) Arbeitsspeichern immer doppelt zu Rechnen um auf den beschrifteten Wert zu kommen. Folglich ist bei DDR400 der Standarttakt bei 200MHz, bei DDR300 bei 150MHz und bei DDR800 bei 400MHz.

Der RAM-Teiler wird folgendermassen berechnet:

$$\text{CPU-Standarttakt} / \text{RAM Takt(erhöht)} = \text{RAM Teiler}$$

Falls der RAM-Teiler eine rationale Zahl ist, wird sie auf die nächste ganze Zahl gerundet. Der RAM-Teiler dient als Hilfe bei der Berechnung des RAM-Taktes. Damit dies verständlicher wird, errechne ich eine Beispielübertaktung für meinen AMD Athlon 64 3000+ mit 1800 MHz CPU-Standarttakt:

Der Standartreferenztakt beträgt 200 MHz und der Multiplikator 9 mit einem DDR400 Arbeitsspeicher. Nun möchten wir den CPU-Takt auf 2700 MHz erhöhen. Dazu müssen wir den Referenztakt von 200MHz auf 300MHz erhöhen. Durch die Erhöhung des Referenztaktes steigt der HT-Takt auf 1500MHz, welcher durch die Verkleinerung des HT-Multiplikators von 5 auf 3 wieder weniger als 1000MHz beträgt. Aber auch der RAM-Takt hat sich durch die Erhöhung des Referenztaktes erhöht. Dieser muss nun von 300MHz auf 200MHz oder weniger gesenkt werden. Dafür müssen wir zuerst den RAM-Teiler berechnen:  $1800\text{MHz}/133\text{MHz} = 13.5 \rightarrow 14$  entspricht dem RAM-Teiler. Dieser wird nun in die nächste Formel eingesetzt:

$$\text{RAM-Takt(übertaktet)} = \text{CPU-Takt(übertakteter Wert)} / \text{RAM Teiler}$$
$$2700\text{MHz}/14=192\text{MHz}$$



Mit diesen Schritten haben wir nun alle Veränderung für eine erfolgreiche Übertaktung erledigt. Um zu verdeutlichen, dass bei jedem Prozessor eine eigene Berechnung durchzuführen sind, wird eine tabellarische Übersicht zu AMD Athlon 64 Prozessoren angehängt<sup>11</sup>:

**Tabelle 2** Übertaktungsmodell verschiedener Prozessoren

<b>Prozessor AMD Athlon 64</b>	<b>3000+</b>	<b>3200+</b>	<b>4000+</b>	<b>4000+</b>
CPU-Standardtakt	1800MHz	2000MHz	2400MHz	2400MHz
CPU-Takt(übertaktet)	2700MHz	3000MHz	3000MHz	4000MHz
Multiplikator	9	10	12	12
Standardreferenztakt	200MHz	200MHz	200MHz	200MHz
Referenztakt(übertaktet)	300MHz	300MHz	250MHz	333MHz
HT-Multiplikator	3	3	4	3
HT-Takt	900MHz	900MHz	1000MHz	999MHz
RAM-Standardtakt	200MHz	200MHz	200MHz	400MHz
RAM-Takt(übertaktet)	193MHz	200MHz	200MHz	333MHz
RAM-Teiler	14	15	15	12

Es besteht eine Möglichkeit, den Prozessor noch höher zu übertakten. Dabei wird die Spannung der CPU (Vcore) erhöht. Dies führt aber zu Fehlern bei der Übertragung der Informationen, weil die CPU nicht für erhöhte Spannungen ausgerichtet ist. Um das Risiko minim zu halten wird die Spannung der CPU bei meinen Versuchen nicht erhöht.

<sup>11</sup> <http://www.computerbase.de/forum/showthread.php?t=212397>

## 2.5 Bau des ölgekühlten PCs



Abb. 6 Aquarium mit eingebauten PC ohne Öl

Um eine effiziente Ölkühlung zu bauen musste zuerst ein Medium gefunden werden, welches flüssigkeitsundurchlässig und genug gross für einen Desktop PC war. Da kam ein altes, gläsernes Aquarium der Biologen in der Kanti gerade günstig. Weil aus

Kostengründen nur 25 Liter Transformatorenöl bestellt wurde, ist die Höhe des Öles im Aquarium durch Steine angehoben worden. Diese wurden auf einer Seite des Aquariums aufgebaut, da das Mainboard nur etwa ein Drittel so breit wie das Aquarium ist. Nun war das Gehäuse zu öffnen und die Grafikkarte vom Mainboard zu lösen. Danach waren die Stromkabel zu lösen und von restlichen Komponenten zu entfernen. Die Festplatte und das CD-Laufwerk waren auszubauen und das Mainboard vom Gehäuse abzuschrauben. Nun waren das Mainboard ins Aquarium, das Netzteil auf die Steine zu legen (wird nicht ins Öl getaucht) und die Stromkabel auf dem Mainboard anzuschliessen.

Das Netzteil war mit Klebeband zu fixieren. Die Grafikkarte war auf das Mainboard zu stecken und an den Bildschirm anzuschliessen.

Die CPU und der Arbeitsspeicher wurden beim Ausbauen nicht vom Mainboard entfernt und mussten somit nicht wieder eingebaut werden.

Zum Schluss war die Festplatte anzuschliessen und mit Klebeband an die Seitenwand des Aquariums zu kleben.

Dies erwies sich allerdings später als grosser Fehler.

Nun wurde die Festplatte und die Grafikkarte durch das Netzteil ans Stromnetz gehängt. Das CD-Laufwerk wurde nicht mehr angeschlossen weil es nicht benötigt wurde und es im Öl nicht funktionieren würde.

Im Aquarium verbaut wurde jetzt ein Starttest durchgeführt, welcher erfolgreich war. Nun wurde das Öl während des Betriebs des PCs hineingegossen.

Um Spritzer auf dem Boden zu verhindern wurde das Aquarium auf eine Blechwanne gestellt und das Öl wurde zuerst in Eimer gegossen und erst dann in das Aquarium.

Der PC lief wie gewohnt weiter.



Abb. 7 Ölgekühlter PC am arbeiten

Nach einigen Monaten passierte das erste Missgeschick. Während einer Messung löste sich das Klebeband und die Festplatte fiel in Öl. Der PC stürzte sofort ab und ich wusste, dass ich die Festplatte nicht mehr gebrauchen kann.

Glücklicherweise war ein Ersatz rasch organisiert und die Arbeit konnte, nachdem die Festplatte formatiert und Windows 7 installiert war, fortgesetzt werden.

Ein weiteres Problem entstand, als die CPU zu hoch getaktet wurde. Der PC hat einen Sicherheitsmechanismus, welcher bei möglicher Beschädigung einer Komponente, den Computer nicht mehr hochfährt. Um den das BIOS auf den Ursprungszustand zu setzen, musste ein Reset-Knopf auf dem Mainboard gedrückt werden. Das Problem war, dass sich dieser Knopf im Öl befand. Das hatte zur Folge, dass das Netzteil und die darunterliegenden Steine, welche das Mainboard fixierten, entfernt werden musste, um das Mainboard anzuheben um den Knopf zu drücken.

### 3. Experimente

Um die Experimente später vergleichen zu können, wurden sie stets mit derselben Software gemessen. Um überhaupt herauszufinden, welche Komponenten und bei welcher Frequenz getaktet wird, wurde das Programm CPU-Z (v.1.56) verwendet. Die Software welche für die Messung zuständig ist, heisst Everest Ultimate Tool (v.5.50.2100). Wenn man das Programm gestartet hat, gibt es ein Tool mit dem Namen Systemstabilitätstest, welches in der Lage ist, den Prozessor mit so vielen Rechenaufgaben zu beschäftigen um eine hundertprozentige Auslastung zu provozieren. Des Weiteren ist es in der Lage, auf die beim PC eingebauten Temperaturfühler zuzugreifen und die Temperatur auszulesen und in eine Grafik einzufügen. Die beiden wichtigsten Temperaturfühler liegen direkt bei der CPU und auf dem Mainboard. Bei jedem Experiment wurde derselbe PC verwendet mit diesen Spezifikationen:

**Tabelle 3** Verwendete PC Komponenten in der Übersicht

Hauptprozessor (CPU)	AMD Athlon 64 3000+ boxed
Standart CPU-Takt	1800MHz (9x200MHz)
Mainboard Bezeichnung	MSI K8N Neo4-F
Mainboard Chipsatz	MS 7125 nforce4 mcp
Arbeitsspeicher Bezeichnung	Corsair CMX512-3200C2
Arbeitsspeicher Speichergrösse	2 x 512 Megabytes (insgesamt 1 Gigabyte)
Festplatte Bezeichnung	Seagate Barracuda 7200.10
Festplatte Speichergrösse	250 Gigabytes
Netzteil	Hyper Standard Series 425W
Grafikkarte Bezeichnung	ATI Radeon X800 XL
Grafikkarte Speichergrösse	256 Megabytes

Die Strommessungen erfolgen mit dem Strommessgerät der Herstellerfirma EMU mit der Bezeichnung EMU 1.24K.

## 3.1 Luftkühlung

### 3.1.1 Ziele

Das Primärziel des Luftkühlung-Experimentes ist es eine Referenzmessung für weiter folgende Messungen zu erstellen.

Dabei werden die Temperatur der CPU, die Temperatur des Mainboards und der Stromverbrauch gemessen. Der Computer war früher in der gleichen Form im Handel erhältlich, ausser dass das CD-Laufwerk entfernt wurde, da es unbrauchbar bei diesen Versuchen ist und es bei einem ölgekühlten PC, für gleiche Messbedingungen, schlecht eingebaut werden kann.

Das sekundäre Ziel ist, die Leistungsaufnahme eines Computers zu verdeutlichen und aufzuzeigen, was mit dieser Leistung passiert.

### 3.1.2 Ablauf

Der Computer wurde hochgefahren. Danach wurde ein Everest Ultimate Tool Systemstabilitätstest gestartet, wodurch die CPU voll ausgelastet wurde. Nach ca. 20 Minuten wurde der Test beendet. Dieser Test wurde am nächsten Tag wiederholt, nachdem sich das Öl und die CPU abgekühlt haben.

### 3.1.3 Verwendetes Material

Zum Computer hinzu kommen noch zwei Gehäuselüfter. Einer wurde vorne und einer hinten am Gehäuse befestigt.

### 3.1.4 Messbedingungen

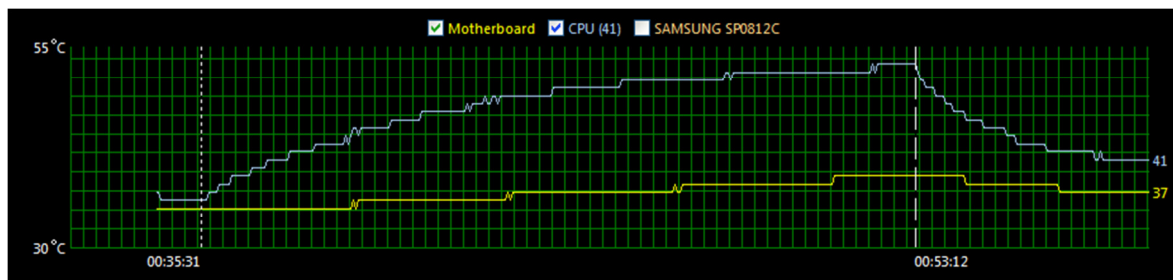
**Tabelle 4** Messbedingungen Luftkühlung

Messung	1	2
Zimmertemperatur	25°C	23°C
CPU-Temperatur beim Start	25°C	23°C
CPU-Temperatur bei minimaler Auslastung	36°C	33°C

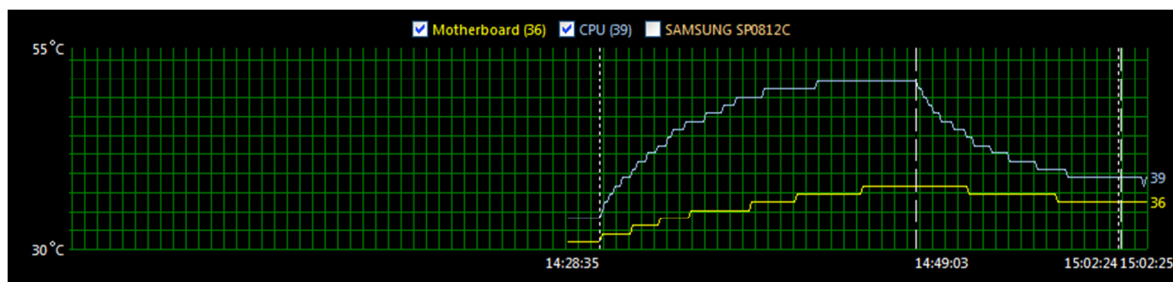
### 3.1.5 Resultate

**Tabelle 5** Resultate Luftkühlung

Messung	1	2
Testzeit (in min)	17:37	20:18
Max. Temp. CPU	53°C	51°C
Max. Temp. Mainboard	39°C	38°C
Energieverbrauch bei $t_0$	Keine Daten <sup>12</sup>	14.5 Wh
Energieverbrauch bei Stopp CPU-Auslastung	Keine Daten <sup>12</sup>	50 Wh
Energieverbrauch bei Abbruch	Keine Daten <sup>12</sup>	69 Wh
Leistung minimale Auslastung	Keine Daten <sup>12</sup>	82 W
Leistung bei voller CPU Auslastung	Keine Daten <sup>12</sup>	100-105W
Lüfter Umdrehungen pro Minute (minimal)	831	796
Lüfter Umdrehungen pro Minute (maximal)	1592	1140
Lüfter Umdrehungen pro Minute (durchschnitt)	910	911



**Abb. 8** Temperaturverlauf Luftkühlung Messung 1, Gesamtdauer 17:37 min



**Abb. 9** Temperaturverlauf Luftkühlung Messung 2, Gesamtdauer 20:18 min

<sup>12</sup> Messgerät stand nicht zur Verfügung

### 3.1.6 Interpretation

Bei Messung 1 betrug die Zimmertemperatur 25°C, bei Messung 2 hingegen betrug die Zimmertemperatur 23°C. Dieser kleine Temperaturunterschied zeigte sich bei der CPU-Temperatur wieder.

Durch die Anfangs höhere Temperatur bei Messung 1 ist die CPU Temperatur höher gestiegen als bei Messung 2, bei welcher die Zimmertemperatur geringer war.

Dies zeigt deutlich, dass die Temperatur der Luft die zum Kühlen eingesetzt wird einen Einfluss auf die Kühlleistung hat. Die Temperatur der CPU steigt, bei Messung 2 unter Vollast, bis 51°C innerhalb von 20 Minuten und bleibt dann mehr oder weniger konstant.

Unter Vollast wird mehr Leistung benötigt um den PC zu betreiben. Die Leistungsaufnahme steigt an und die CPU wird dadurch stärker erwärmt. Diese Wärme wird vom CPU-Kühler an die Umgebung abgegeben. Um die Wärme der CPU zu senken, muss die CPU besser gekühlt werden.

Des Weiteren steigen die Umdrehungen des Prozessorlüfters bei Messung 1 von 831 auf 1592 an. Das wiederum verursacht wieder, dass der PC mehr Leistung braucht um ihn ausreichend zu kühlen.

Bei ca. 1600 Umdrehungen kommt der Lüfter an sein Limit und die CPU kann nicht stärker gekühlt werden. Dadurch steigt die Temperatur der CPU bis zu einer bestimmten Temperatur an und bleibt konstant stehen. Als die 100% Belastungstest beendet wird sinkt die Temperatur, da weniger Leistung aufgenommen wird, und dadurch weniger Abwärme entsteht.

## 3.2 Kurzzeitexperiment Ölkühlung

### 3.2.1 Ziele

Das Ziel dieses Experimentes ist den Betrieb des PC mit Öl zu zeigen und eine analoge Messung zur Luftmessung zu haben. Sekundäre Ziele sind noch die Temperaturmessung und die Messung des Stromverbrauchs.

### 3.2.2 Ablauf

Der Computer wurde in ein Glasaquarium eingebaut. Das Gehäuse wurde dabei entfernt. Nach dem die Komponenten mit Hilfsmitteln stabilisiert wurden, wurde das Öl dazu gegossen. Eine nähere Beschreibung gibt es beim Titel 2.5 „Bau des ölgekühlten PCs“. Nun wurde der PC hochgefahren und mit dem Everest Ultimate Tool Systemstabilitätstest begonnen. Dieser wurde nach 2 Stunden und 48 Minuten beendet.

### 3.2.3 Verwendetes Material

Zusätzlich zum bei Punkt 3. „Experimente“ beschriebenen PC und der Software kommen noch diese weiteren Materialien zum Einsatz:

Als Kühlmittel diente: Rinatol Transformatoren- und Schalteröl (unlegiert, absolut wasserfrei, mit hoher Alterungsstabilität und sehr tiefen Pourpoint, Giftklassefrei und frei von PCB) auf der Basis von Mineralöl WTO.

Anstatt mit der gewohnten Luftkühlung, wird der PC mit Öl gekühlt.

### 3.2.4 Messbedingungen

**Tabelle 6** Messbedingungen Kurzzeitexperiment Ölkühlung

Messung	1
Zimmertemperatur	23°C
CPU-Temperatur beim Start	23°C
CPU-Temperatur bei minimaler Auslastung	27°C
Grafikkartentemp. bei $t_0$	36°C

### 3.2.5 Resultat

**Tabelle 7** Resultat Kurzzeitexperiment Ölkühlung

Messung	1
Testzeit (in h)	02:48:11
Max. Temp. CPU	46°C
Max. Temp. Mainboard (Öl)	33°C
Max. Temp. GPU	49°C
Leistung bei voller CPU Auslastung	98-100W



Es war keine Zirkulation im Öl sichtbar, da das Öl nicht durch eine Pumpe oder einen Lüfter bewegt wurde.

Die Leistung schwankte bei minimaler Auslastung zwischen 78 und 82 W. Die Leistung stieg bei Volllast auf 100 W.

Der Energieverbrauch bis zum Abbruch betrug ca. 50 Wh.

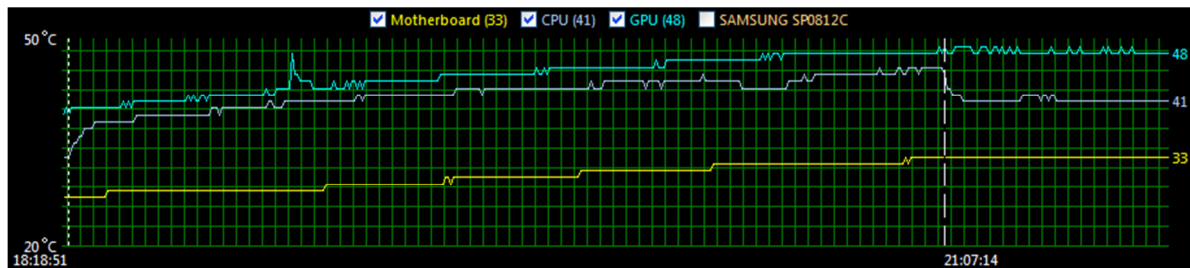


Abb. 10 Temperaturverlauf Kurzzeitexperiment Ölkühlung

### 3.2.6 Interpretation

Die Wärme wird von der CPU an das Öl abgegeben.

Zuerst steigt die Temperaturkurve stark an und flacht dann leicht ab. Da das Öl eine sehr hohe Wärmekapazität hat, wird die CPU langsamer heiss als bei der Luftkühlung und erreicht nach knapp drei Stunden erst 45°C (zum Vergleich die Luftkühlung nach ca. 20 min: 51°C).

Diesen Vorteil kann man sich bei einer Übertaktung gut zu Nutze machen. Dieser Versuch wird bei der Übertaktung als Vergleichsversuch dienen.

Der ölgekühlte PC braucht weniger Leistung als der Luftgekühlte, da die zwei Gehäuselüfter der Luftkühlung entfallen.

### 3.3 Langzeitexperiment Ölkühlung

#### 3.3.1 Ziele

Das Ziel dieses Experimentes ist es, eine analoge Messung zur Luftmessung zu erstellen und die Stabilisation der Temperatur des Öl und der CPU zu erreichen.

#### 3.3.2 Ablauf

Der Ablauf ist fast derselbe, wie beim Kurzzeitexperiment ausser, dass die Durchführung des Experimentes nicht 30min dauert, sondern bis sich die Temperatur stabilisiert hat.

Eine längere Testphase als 24 Stunden halte ich für unnütz, da man Systeme die länger als 12h ohne Fehler und Unterbrüche arbeiten als stabil ansehen kann.

#### 3.3.3 Verwendetes Material

Zusätzlich zum bei Punkt 3. „Experimente“ beschriebenen PC und der Software kommen noch diese weiteren Materialien zum Einsatz:

Als Kühlmittel dient: Rinatol Transformatoren- und Schalteröl (unlegiert, absolut wasserfrei, mit hoher Alterungsstabilität und sehr tiefen Pourpoint, Giftklassefrei und frei von PCB) auf der Basis von Mineralöl WTO.

Anstatt mit der gewohnten Luftkühlung, wird der PC mit Öl gekühlt.

#### 3.3.4 Messbedingungen

**Tabelle 8** Messbedingungen Langzeitexperiment Ölkühlung

Messung	1
Zimmertemperatur	23°C
CPU-Temperatur bei minimaler Auslastung	26°C
Grafikkartentemp. bei $t_0$	31°C

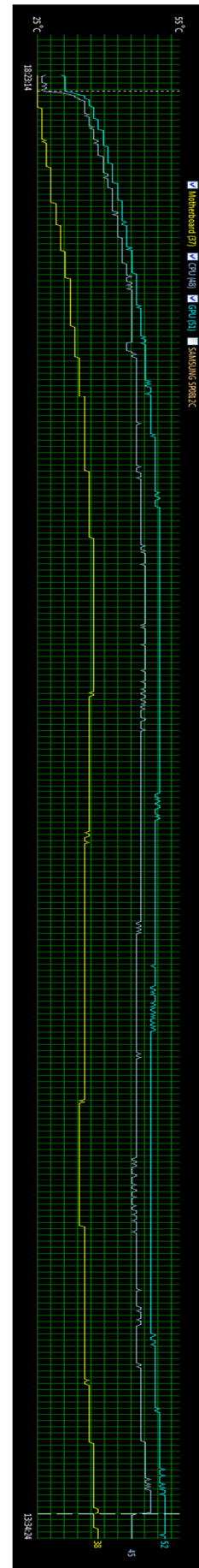
### 3.3.5 Resultat

**Tabelle 9** Resultat Langzeitexperiment Ölkühlung

Messung	1
Testzeit (in h)	19:10:15
Max. Temp. CPU	49°C
Durchschnittstemperatur CPU	45.8°C
Max. Temp. Mainboard (Öl)	38°C
Durchschnittstemperatur Öl	34.7°C
Max. Temp. GPU	52°C
Durchschnittstemperatur GPU	48.9°C
Leistung bei voller CPU Auslastung	98-100W

Es war keine Zirkulation im Öl sichtbar, da das Öl nicht durch eine Pumpe oder einen Lüfter bewegt wurde. Die Leistung schwankte bei minimaler Auslastung zwischen 78 und 82 W. Die Leistung stieg bei Vollast auf 100 W. Die Temperatur der CPU stabilisierte sich zwischen 44 und 47 °C (schwankt immer hin und her)

Temperaturverlauf: siehe Grafik rechts. (Zur korrekten Ablesung Seite um 90° im Gegenuhrzeigersinn drehen)



**Abb. 11**  
Temperaturverlauf  
Langzeitexperiment  
Ölkühlung

### 3.3.6 Interpretation

Die Wärme wird von der CPU an das Öl abgegeben. Da dieses eine sehr hohe Wärmekapazität hat, wird die CPU langsamer heiss als bei der Luftkühlung und erreicht nach knapp drei Stunden erst 45°C (zum Vergleich die Luftkühlung nach ca 20 min: 51°C) Diesen Vorteil kann man sich bei einer Übertaktung gut zu Nutze machen.

Des Weiteren braucht der ölgekühlte PC weniger Leistung, da die zwei Gehäuselüfter der Luftkühlung entfallen.

Man erkennt an der Durchschnittstemperatur, dass sie tiefer liegt als bei der Luftkühlung und dass die Ölkühlung mit geringerem Stromverbrauch auskommt, weil der ölgekühlte PC 2 Lüfter weniger angeschlossen hat als bei der luftgekühlten Variante.

Somit ist bewiesen, dass eine Ölkühlung effizienter ist als eine Luftkühlung.

Um das nun zu verdeutlichen wird im nächsten Versuch (Übertaktung) die Höchsttemperatur der CPU auf 51°C erhöht um zu zeigen, dass bei dieser Temperatur der ölgekühlte PC einen höheren CPU-Takt erreicht.

Wenn man nun einer grossem Bürogebäude bei allen PC eine Ölkühlung einbauen würde und einen Wärmetauscher, könnte man die Abwärme des PCs für die Beheizung eines Raumes nutzen.

Bei ölgekühlten PCs könnte man einen Wärmetauscher einbauen.

Das Öl im Aquarium hat sich auf 38°C erwärmt und liegt somit höher als die in Büroräumen geforderten 21-26°C.

Durch den Verbund von mehreren ölgekühlten PCs könnte man somit eine Bodenheizung ganz oder teilweise betreiben, was dazu führen würde, dass für die Heizung weniger Stromkosten anfallen würden.

## 3.4 Übertaktung

### 3.4.1 Ziele

Wie in der Theorie schon beschrieben, ist das Ziel der Übertaktung einen möglichst hohen CPU-Takt zu erreichen. Des Weiteren möchte ich die gleiche Temperatur erreichen, welche bei der Luftkühlung erreicht wurde, um diese dann besser vergleichen zu können.

Ein weiteres Ziel ist die CPU durch die Übertaktung nicht zu beschädigen.

### 3.4.2 Ablauf

Zuerst wurde der PC gestartet und auf das BIOS zugegriffen. Im BIOS wurde das Menu geöffnet, in welchem man den Referenztakt verändern kann.

Bei meinem verwendeten Mainboard (MSI K8N Neo4-F / MS 7125 nforce4 MCP) muss man dazu ins „Cell Menu“. Von dort aus wird die Steuerung des Referenztaktes auf manuell gestellt. Ab jetzt erhöht man den Referenztakt um je 11MHz.

Warum 11MHz und nicht eine gerade Zahl?

Der Grund ist ziemlich simpel: Der Referenztakt wird mit dem Multiplikator 9 multipliziert. Wenn man jetzt 10MHz anstatt 11MHz erhöht, ergibt das 1890MHz anstatt 1899MHz, was man als 1,9 GHz schreibt.

Sobald man ihn das erste Mal erhöht hat, muss man den Hypertransporttakt (HT) Multiplikator von 5 auf 4 senken, damit man den maximalen Hypertransporttakt nicht überschreitet. Dieser liegt bei diesem Mainboard bei 1000MHz.

Als letztes wurde noch die DDR Taktrate runtergeschraubt. Bei dem verwendeten Mainboard findet sich diese Einstellung im Untermenu „DRAM Configuration“ vom Menu „Advanced Chipset Features“.

Dort wurde die RAM-Taktrate auf 183MHz eingestellt, weil der Realtakt des Arbeitsspeichers 200 MHz nicht überschreiten darf und er nun bei 190MHz liegt.

Nun wurden der PC und Windows gestartet.

Um zu kontrollieren, ob der Realtakt des Arbeitsspeichers nicht zu hoch ist, wurde das Programm CPU-Z gestartet, welches angibt, wie hoch der CPU-Takt ist, und ob der HT Multiplikator nicht zu hoch eingestellt ist.

Danach wurde im Everest Ultimate Tool der Systemstabilitätstest gestartet und nach etwa 30 Minuten beendet.

Wenn keine Fehlermeldung erschienen ist, wurde der PC heruntergefahren und der Referenztakt wieder um 11MHz erhöht.

Der HT Multiplikator und die RAM-Taktrate wurden gegebenenfalls angepasst. Der PC wurde dann wieder hochgefahren und mit dem Everest Ultimate Tool Systemstabilitätstest begonnen.

Dieses Schema wird solange verfolgt, bis es zur ersten Fehlermeldung des Programmes kommt.

Der Test wurde dann sofort beendet und der PC heruntergefahren. Im BIOS wurde nun die letzte stabile Konfiguration eingestellt und der Computer mit dem Everest Ultimate Tool Systemstabilitätstest getestet. Dieser wurde nach 9:38 Stunden beendet.

### 3.4.3 Verwendetes Material

Zusätzlich zum bei Punkt 3. „Experimente“ beschriebenen PC und der Software kommen noch diese weiteren Materialien zum Einsatz:

Als Kühlmittel diente: Rinatol Transformatoren- und Schalteröl (unlegiert, absolut wasserfrei, mit hoher Alterungsstabilität und sehr tiefen Pourpoint, Giftklassefrei und frei von PCB) auf der Basis von Mineralöl WTO.

Des Weiteren wurde neu noch ein Lüfter eingebaut welche die Zirkulation im Öl ankurbeln soll.

### 3.4.4 Messbedingungen

**Tabelle 10** Messbedingungen Übertaktung

Messung	1
Zimmertemperatur	23°C
CPU-Temperatur beim Start	23°C
CPU-Temperatur bei $t_0$	28°C
Grafikkartentemp. bei $t_0$	37°C
Referenztakt	256MHz
HT Multiplikator	3
DRAM	150MHz
CPU-Takt	2304MHz

### 3.4.5 Resultat

Das Öl hat um die CPU zirkuliert. Die Leistung schwankte bei minimaler Auslastung zwischen 82 und 90 W. Die Leistung stieg bei Vollast auf 111 W. Die Temperatur der CPU stabilisierte sich zwischen 50 und 52 °C (schwankt immer hin und her) Nach dem Beenden der Vollaustung sank die CPU-Temperatur auf 38°C.

**Tabelle 11** Resultat Übertaktung

Messung	1
Testzeit (in h)	09:37:57
Max. Temp. CPU	52°C
Durchschnittstemperatur CPU	45.7°C
Max. Temp. Mainboard (Öl)	44°C
Durchschnittstemperatur Öl	38.0°C
Max. Temp. GPU	55°C
Durchschnittstemperatur GPU	49.4°C
Leistung bei voller CPU Auslastung	109-111W

### 3.4.6 Interpretation

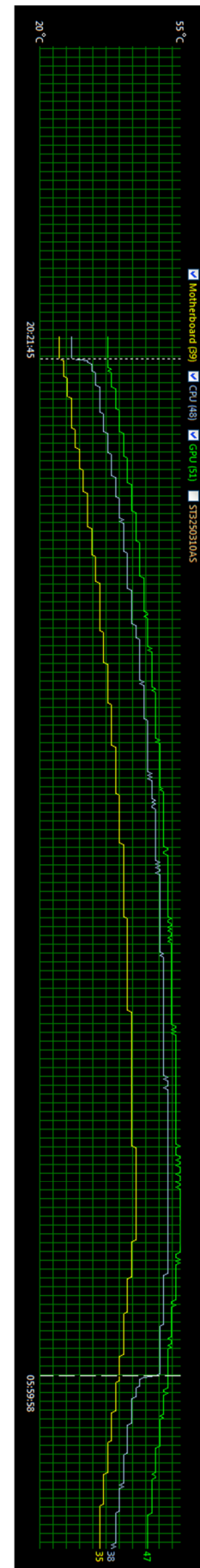
Wie man erkennen kann, steigt die CPU-Temperatur höher als beim nicht übertakteten PC.

Dies ist damit zu erklären, dass die CPU mehr Leistung aufnimmt, weil sie höher getaktet ist. Diesen Leistungsunterschied erkennt man an der Temperaturdifferenz am deutlichsten. Die Leistungsaufnahme des gesamten PCs unter Vollast (109-111W) ist höher als bei der Luftkühlung (100-105W), was an der erhöhten Leistungsaufnahme der CPU liegt. Im Vergleich zur Luftkühlung liegt die maximale Temperatur im Durchschnitt der beiden Luftmessungen gleich wie bei der übertakteten Ölkühlung.

Somit ist bewiesen, dass eine Ölkühlung eine effizientere Kühlung, als eine Luftkühlung ist, denn der luftgekühlte PC läuft mit 1800MHz und der Übertaktete mit 2300MHz bei gleicher Temperatur.

Durch eine Übertaktung könnte man, wie bei einer nichtübertakteten Ölkühlung, Büroräume heizen.

Mithilfe der Übertaktung könnte man die Temperatur regeln. Man könnte zum Beispiel im Winter die CPU übertakten um höhere Temperaturen zu erreichen und im Sommer die Übertaktung rückgängig machen, wenn man die Erwärmung nicht benötigt.



**Abb. 12**  
Temperaturverlauf  
Übertaktung  
Ölkühlung

## 4. Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der einzelnen Experimente verglichen, interpretiert und diskutiert und sowohl die Leitfragen beantwortet. Zum Schluss wird noch auf die aufgetretenen Schwierigkeiten eingegangen.

**Tabelle 12** Übersicht der Experimente

<b>Experiment</b>	<b>Luftkühlung Messung 2</b>	<b>Kurzzeit- experiment Ölkühlung</b>	<b>Langzeit- experiment Ölkühlung</b>	<b>Übertaktung</b>
Testzeit (in h)	00:20:18	02:48:11	19:10:15	09:37:57
Max. Temp. CPU	51°C	46°C	49°C	52°C
CPU-Takt	1800 MHz	1800 MHz	1800 MHz	2304 MHz
Max. Leistung bei 100%CPU Auslastung	105 W	100 W	100 W	111 W
Max. Temp. Mainboard (Öl)	38°C	33°C	38°C	44°C

Wie man erkennen kann, erreicht die CPU mit der Luftkühlung 51°C nach ca. 20 min. Beim Langzeitexperiment Ölkühlung erreicht man diesen extremen Wert gar nicht, weil die Temperatur zwischen 46°C und 49°C hin und her schwankt.

Damit wird erreicht, dass die Ölkühlung besser kühlt als eine Luftkühlung. Des Weiteren braucht die Ölkühlung 5 Watt weniger Leistung als die Luftkühlung.

Somit kann man sagen, dass eine Ölkühlung effizienter ist als eine Luftkühlung, denn die Ölkühlung braucht weniger Leistung und kühlt den PC besser.

Bei der Übertaktung ist die maximale Temperatur von 52°C erst nach ca. 9 Stunden erreicht und schwankt zwischen 50°C und 52°C. Diese Werte liegen etwa gleich wie bei der Luftkühlung, aber die Leistungsaufnahme bei der Übertaktung liegen bei max. 111 Watt.

Dieser erhöhte Wert entsteht dadurch, dass die CPU um eine höhere Taktfrequenz zu erreichen mehr Leistung braucht.

Mit einer höheren Leistungsaufnahme ist eine stärkere Rechenleistung möglich.



## 4.1 Beantwortung der Leitfragen

Um nun zum Anfang zurückzukommen, werde ich die Leitfragen beantworten:

- Ist es mit meinen Vorkenntnissen möglich einen ölgekühlten Desktop-PC mit allgemein verfügbaren Materialien zu realisieren?

Ich konnte während der Maturaarbeit einen ölgekühlten PC zum Laufen bringen. Anstatt Transformatorenöl hätte ich jedoch auch Salatöl verwenden können und den PC zu kühlen. Dies wurde wegen des Geruch und weil Salatöl nach einiger Zeit ranzig wird, nicht getan. Die Frage lässt sich somit mit Ja beantworten.

- Wie verändert sich die Temperatur des Prozessors dieses Computers in Ruhe und unter Volllast?

Die Temperatur des Prozessors erreicht im Ruhezustand einen Wert bei welchem es sich stabilisiert. Wird nun der PC unter Volllast betriebe, nimmt der Prozessor mehr Leistung auf und erwärmt sich stärker, da mehr Abwärme entsteht. Bei einem gewissen Wert stabilisiert sich die Temperatur, weil die Kühlung stark genug ist und sich dadurch der Prozessor nicht weiter erwärmt

- Ist es möglich den ölgekühlten PC längerfristig stabil zu betreiben?

Nachdem ich den ölgekühlten PC ca. 19 Stunden am Stück betrieben habe und die Temperatur sich zwischen zwei Werten eingeepegelt hat, ist diese Frage mit Ja zu beantworten.

- Ermöglicht die Ölkühlung des Computers eine tiefere Temperatur bei Volllast des Prozessors im Vergleich zu einem luftgekühlten Computer?

Bei der Luftkühlung steigt die Temperatur bis auf 53°C. Mit einer Ölkühlung wurde die Temperatur auf 49°C gesenkt, bei tieferer Leistungsaufnahme des gesamten PCs. Des Weiteren steigt die Temperatur viel langsamer an als bei der Luftkühlung, bei welcher nach 20 Minuten die maximale Temperatur erreicht wurde.

- Falls die Kühlleistung durch die Ölkühlung verbessert wird, lässt sich dadurch eine Übertaktung des Prozessors realisieren?

Während meiner Maturaarbeit konnte ich die CPU um 500 MHz übertakten. Eine höhere Übertaktung durch die Erhöhung der CPU-Spannung war wegen den anderen leistungsschwachen Komponenten nicht möglich.

- Wie verbessert sich die Leistungsfähigkeit des PCs?  
Der CPU-Takt steigt von 1800MHz auf 2304 MHz. Der PC erreicht, obwohl er mehr Leistung aufnimmt, die gleiche Temperatur wie die Luftkühlung. Durch die erhöhte Taktrate der CPU lassen sich mehrere Rechnungen pro Zeit berechnen.
- Wie lässt sich die gesteigerte Leistungsfähigkeit messen?  
Die gesteigerte Leistungsfähigkeit wird durch den Unterschied der einzelnen CPU Taktraten angegeben. Dies zeigt sich wiederum in der Temperatur, welche, im Gegensatz zur Standarttaktung, tiefer liegt.
- Ist eine ölgekühlte Übertaktung ökologisch sinnvoll?  
Der Computer braucht durch seine geringere Leistungsaufnahme weniger Strom und dient damit der Umwelt. Auf der anderen Seite muss man natürlich bedenken, dass ein luftgekühlter PC besser und kostensparender entsorgt werden kann, da das Öl bei der ölgekühlten Variante speziell abgebaut werden muss.

## 4.2 Aussicht

Wie schon in der Interpretation der einzelnen Experimente angedeutet, bringt eine Ölkühlung Vorteile und Nachteile. Ein grosser Nachteil ist das Gesamtgewicht des Desktop PCs, was den Transport stark beschränkt. Weitere Nachteile, wie die braune Farbe und der Geruch können durch die Verwendung von Weissöl, welches farb- und geruchlos ist, beseitigt werden. Ein Vorteil ist, dass man die Energie nicht verliert sondern weiter verwenden kann. Wie schon angedeutet, lässt sich die Wärme durch einen Wärmetauscher vom Aquarium ableiten und weiterverwenden. Die entstandene Abwärme könnte bei einer Bodenheizung einen Teil der Energieversorgung ausmachen. Um eine konkrete Berechnung der Energieversorgung einer Bodenheizung fehlt mir das nötige Fachwissen.

## **5. Schlusswort**

Im letzten halben Jahr habe ich mich mit einem ölgekühlten PC beschäftigt. Ich habe ihn selbst aufgebaut, Experimente damit durchgeführt und die daraus folgenden Resultate analysiert und interpretiert. Während dieser sehr intensiven Zeit habe ich Höhen und Tiefen erlebt. Zu den Tiefpunkten zählt sicherlich das Missgeschick bei welchem mir die erste Festplatte ins Öl gefallen ist. Das beste Erlebnis war, als der PC gestartet wurde und dabei das Öl ins Aquarium gegossen wurde.

Allem in allem bin ich sehr zufrieden mit meiner Maturitätsarbeit. Dennoch hätte ich gerne den Hauptprozessor höher übertaktet, was mir aber wegen den anderen leistungsschwachen Komponenten nicht möglich war. Die Maturaarbeit konnte ich trotzdem nach meinen Vorstellungen durchführen.

## 6. Glossar

Viskosität : Maß für die Zähflüssigkeit einer Flüssigkeit<sup>13</sup>

CPU: Hauptprozessor (z.B. bei PCs)

Boxed CPU: Prozessor welcher von Werk aus mit einem CPU-Kühler geliefert wird

PCI(e): Verbindungsslot für Peripheriegeräte (z.B. Grafikkarte) mit dem Chipsatz eines Hauptprozessors<sup>14</sup>

GPU: Grafikprozessor

RAM: Direktzugriffsspeicher, Bei PCs findet er als Arbeitsspeicher Verwendung<sup>15</sup>

TDP: Maximale Verlustleistung<sup>16</sup>

Big / Midi / Micro Tower: Verschiedene genormte Gehäusegrößen.

PCB: Polychlorierte Biphenyle, organische Umweltgifte<sup>17</sup>

Pourpoint: bezeichnet für ein flüssiges Produkt die Temperatur, bei der es bei Abkühlung gerade noch fließt.

Hypertransporttakt: Zuständig

HT Multiplikator: Hypertransporttakt Multiplikator

DRAM: Taktrate des Arbeitsspeichers in MHz

BIOS: Eng. *basic input/output system*<sup>18</sup> Firmware (in elektronischen Geräten eingebette Software<sup>19</sup>) bei x86-PCs (eine Mikroprozessor-Architektur<sup>20</sup>)

V<sub>core</sub>: Spannung des Kerns (in diesem Fall CPU)

Booten: Laden des Betriebssystems eines Computers<sup>21</sup>

---

<sup>13</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Viskosit%C3%A4t>

<sup>14</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/PCI-Express>

<sup>15</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Random-Access\\_Memory](http://de.wikipedia.org/wiki/Random-Access_Memory)

<sup>16</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Tdp>

<sup>17</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Polychlorierte\\_Biphenyle](http://de.wikipedia.org/wiki/Polychlorierte_Biphenyle)

<sup>18</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/BIOS>

<sup>19</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Firmware>

<sup>20</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/X86-Prozessor>

<sup>21</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Booten>

## 7. Quellen

### 7.1 Literatur

Kuchling, Horst (1996): Taschenbuch der Physik, München Wien Carl Hanser Verlag

### 7.2 Internet-Quellen

[www.amd.com](http://www.amd.com)

[www.intel.com](http://www.intel.com)

[www.nvidia.com](http://www.nvidia.com)

<http://www.pcgameshardware.de/aid,660007/Leistungsaufnahme-von-Grafikkarten-im-Vergleich/Grafikkarte/Test/?page=2>

<http://www.meisterkuehler.de/content/energierechner-fuer-computer-79.html>

### 7.3 Bilder

Abb. 1 Aufbau Computer mit CPU-Kühler und Grafikkarte

Abb. 2 Aufbau Computer ohne CPU-Kühler und Grafikkarte

Abb. 5 Luftstrom Luftkühlung

Abb. 6 Wasserkühlkörper für CPU;

<http://de.wikipedia.org/wiki/PC-Wasserkühlung>

Abb. 7 Aufbau Wasserkühlung;

<http://www.pcmasters.de/forum/wasserkuehlung/17533-wie-funktioniert-eine-wakue.html>

Abb. 8 Aquarium mit eingebauten PC ohne Öl

Abb. 9 Ölgekühlter PC am arbeiten

Abb. 10 Temperaturverlauf Luftkühlung Messung 1, Gesamtdauer 17:37 min

Abb. 11 Temperaturverlauf Luftkühlung Messung 2, Gesamtdauer 20:18 min

Abb. 12 Temperaturverlauf Kurzzeitexperiment Ölkühlung

Abb. 13 Temperaturverlauf Langzeitexperiment Ölkühlung

Abb. 14 Temperaturverlauf Übertaktung Ölkühlung

Abb. 15 Messergebnisse Luftkühlung

Abb. 16 Messergebnisse Kurzzeitexperiment Luftkühlung

Abb. 17 Messergebnisse Langzeitexperiment Ölkühlung

Abb. 18 Messergebnisse Übertaktung Ölkühlung

## 7.4 Tabellen

Tabelle 1 Spez. Wärmekapazitäten von verschiedenen Materialien

Tabelle 2 Übertaktungsmodell verschiedener Prozessoren

Tabelle 3 Verwendete PC Komponenten in der Übersicht

Tabelle 4 Messbedingungen Luftkühlung

Tabelle 5 Resultate Luftkühlung

Tabelle 6 Messbedingungen Kurzzeitexperiment Ölkühlung

Tabelle 7 Resultat Kurzzeitexperiment Ölkühlung

Tabelle 8 Messbedingungen Langzeitexperiment Ölkühlung

Tabelle 9 Resultat Langzeitexperiment Ölkühlung

Tabelle 10 Messbedingungen Übertaktung

Tabelle 11 Resultat Übertaktung

## **8. Danksagung**

Ich möchte mich an dieser Stelle herzlich bei allen bedanken, die mich auf meinem Weg zur Fertigstellung der Maturitätsarbeit begleitet haben. Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Mathias Wittenwiler, der mich während der ganzen Zeit als Referent tatkräftig unterstützt hat. Zu guter Letzt, ein herzliches Dankeschön an Jutta Oderbolz für das Korrekturlesen.

# 9. Anhang

## 9.1 Bilder

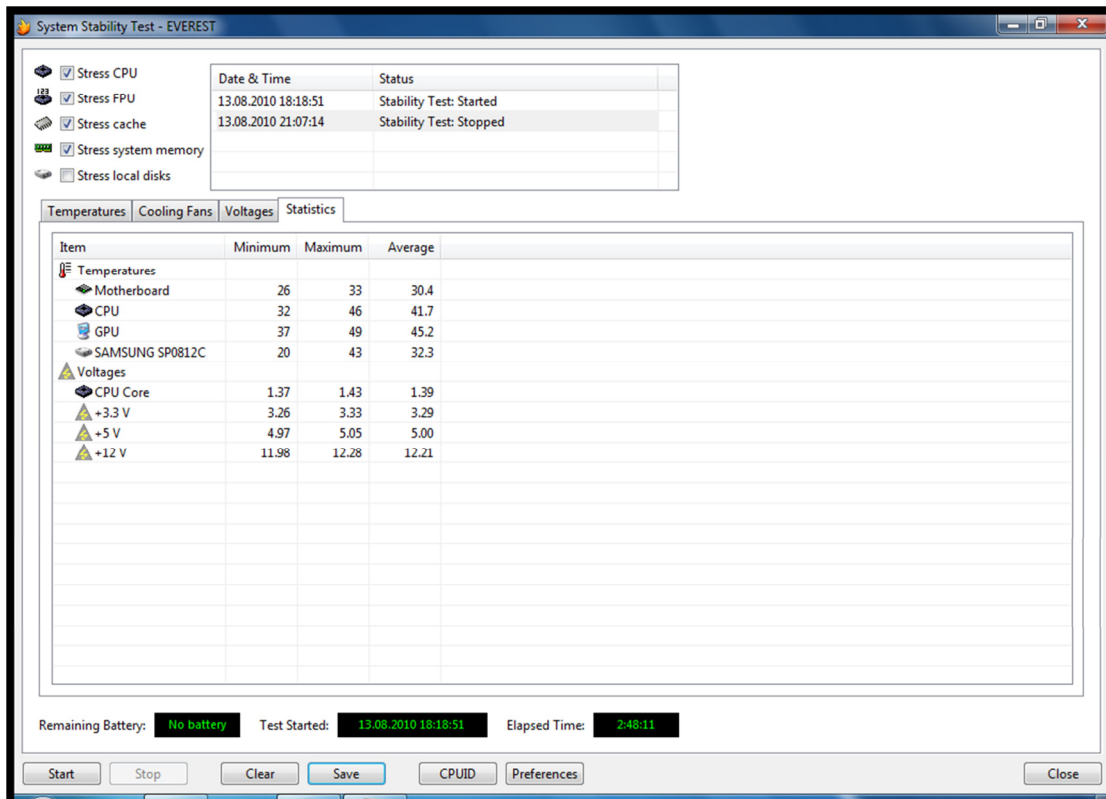


Abb. 13 Messergebnisse Luftkühlung

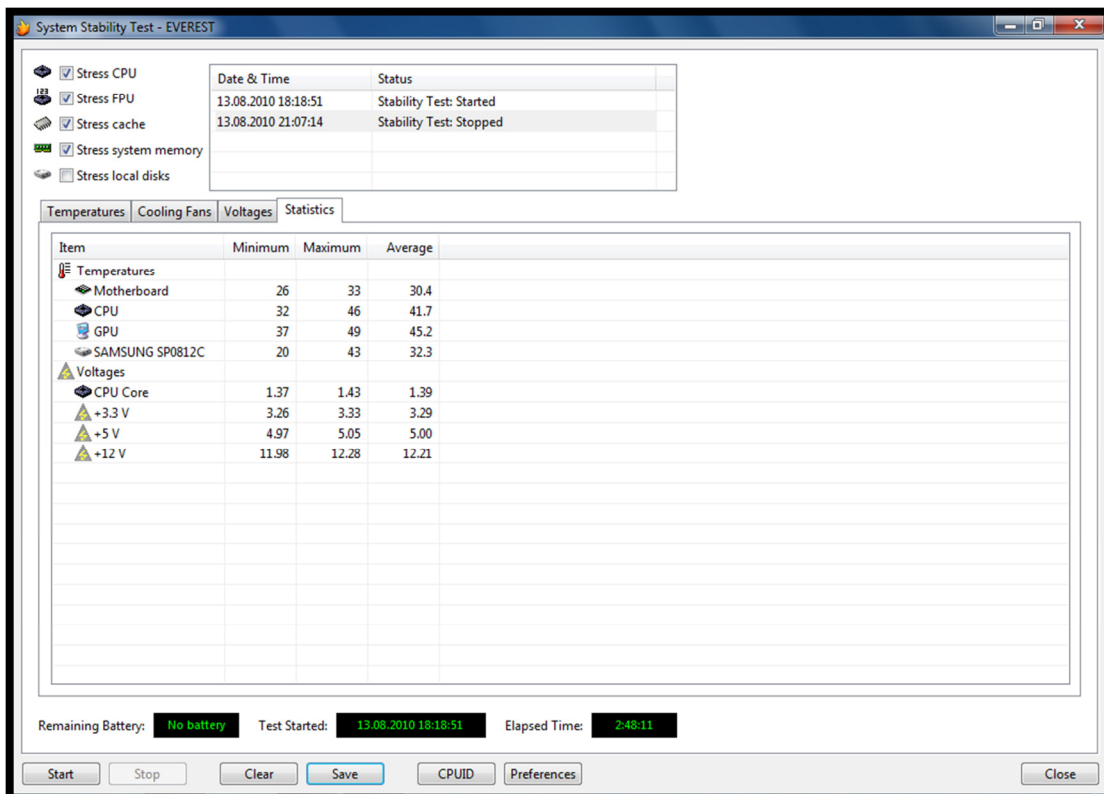


Abb. 14 Messergebnisse Kurzzeitexperiment Luftkühlung



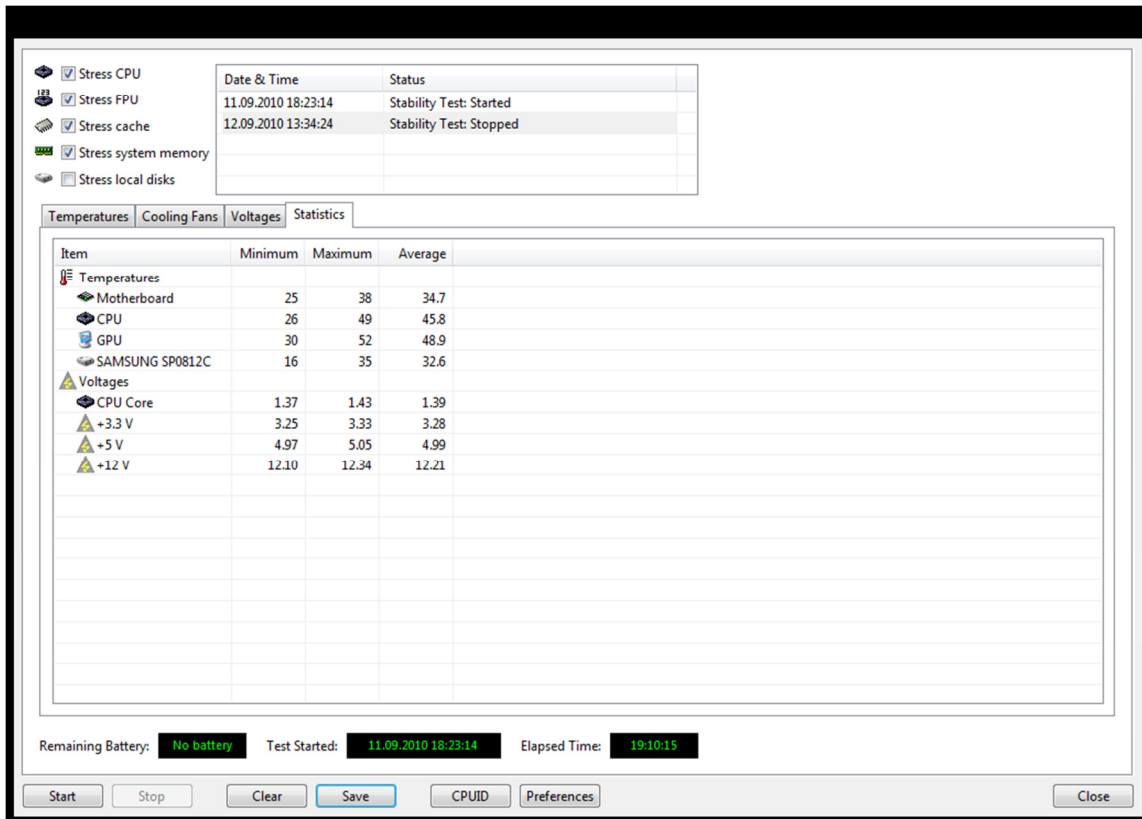


Abb. 15 Messergebnisse Langzeitexperiment Ölkühlung

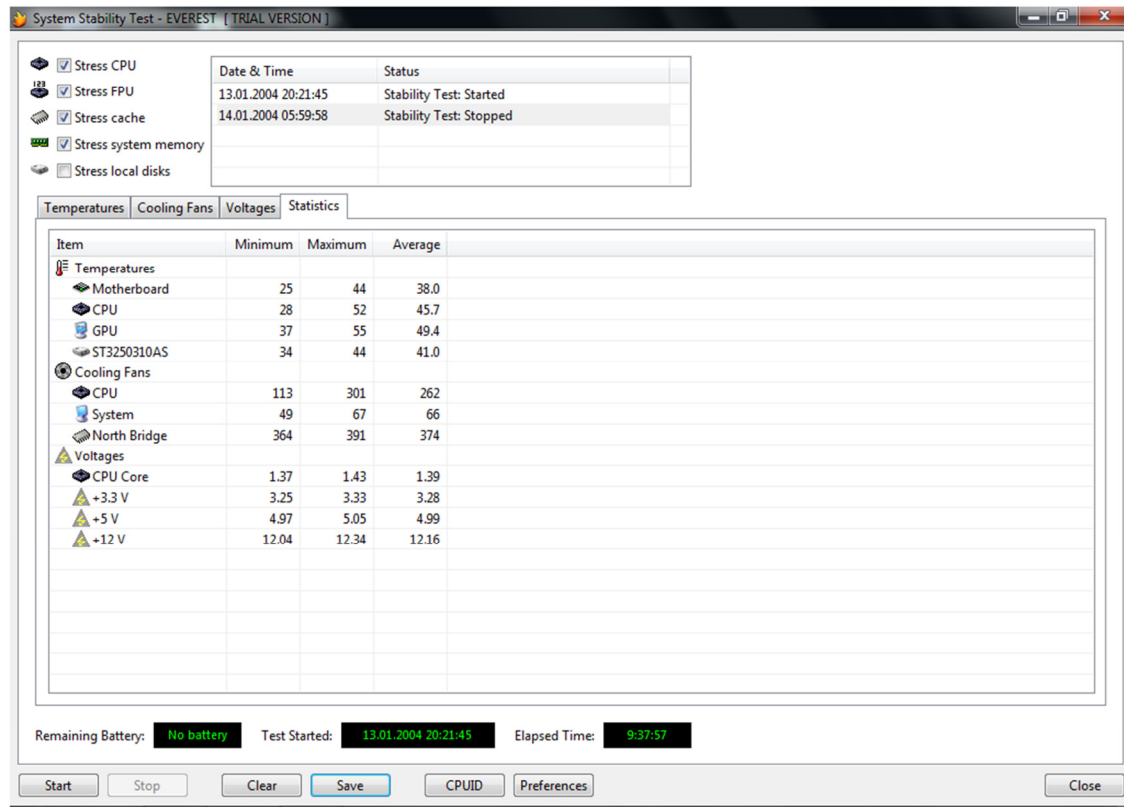


Abb. 16 Messergebnisse Übertaktung Ölkühlung