

Optische Computer und Quantencomputer: Green IT und wirtschaftliche Einsatzszenarien

Diplomarbeit

zur Erlangung des Grades einer Diplom-Ökonomin der
Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Bousalama



Vorname: Marina



Erstprüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Hannover, den 17.11.2008

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2. Grundlagen	5
2.1 Optische Computer	5
2.1.1 Modell der Optischen Datenübertragung	5
2.1.2 Definition und Entwicklung Optischer Computer	6
2.1.3 Aufbau und Funktionsweise eines Optischen Computers	7
2.1.3.1 Photonen	7
2.1.3.2 Hybrides vs. Rein optisches Rechensystem	8
2.1.4 Optische Schaltelemente	9
2.2 Quantencomputer	12
2.2.1 Mooresches Gesetz	12
2.2.2 Grenzen der Miniaturisierung	16
2.2.3 Gesetzmäßigkeiten der Quantenmechanik	19
2.2.4 Aufbau und Funktionsweise eines Quantencomputer	20
2.2.4.1 Quantenbit	21
2.2.4.2 Schrödingers Katze	23
2.2.4.3 Welle-Teilchen-Dualismus	26
2.2.4.4 Doppelspaltexperiment	27
2.2.4.5 Verschränkung	29
3. Green IT	30
3.1 Begriff der Green IT	30
3.2 Konzept der Green IT	31
4. Vergleich zwischen Optischem Computer, Quantencomputer und herkömmlichem Computer	34
4.1 Untersuchte Kriterien	34
4.2 Vorstellung der Experten	36
4.3 Ergebnisse des Vergleichs	37
4.3.1 Auswirkungen auf die Umwelt	37
4.3.2 Kosten	39

4.3.3 Rechnerleistung	40
4.3.4 Notwendige Voraussetzungen	42
4.3.5 Begrenzte Einsatz- und Anwendungsgebiete	45
5. Wirtschaftliche Einsatzszenarien Optischer Computer und Quantencomputer	48
5.1 Wirtschaftliche Einsatzszenarien von Optischen Computern	48
5.1.1 Einsatzszenarien photonischer Kristalle	48
5.1.2 EU-Forschungsprojekt "PhotonicRoadSME"	49
5.2 Wirtschaftliche Einsatzszenarien von Quantencomputern	50
5.2.1 Einsatz von Quantencomputern in der Kryptologie	50
5.2.1.1 Definition und Notwendigkeit der Kryptologie	50
5.2.1.2 Verschlüsselung mit Quantencomputern	52
5.2.1.3 Vorteile der Quantenkryptographie	55
5.2.2 Einsatz von Quantencomputern in Datenbanken	57
5.2.3 Aufbau des „Institute for Quantum Computing“	58
6. Fazit	59
Literaturverzeichnis.....	61

1. Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

„Glaubt man den Computerforschern und Quantenphysikern, wird der Computer spätestens im Jahr 2030 keinerlei Ähnlichkeit mehr mit der vertrauten grauen oder farbigen Kiste auf unseren Schreibtischen haben.“¹

Computer sind heutzutage überall in unserem Alltag vorhanden. Dabei werden sie immer kleiner. Diese zunehmende Miniaturisierung hat jedoch physikalische Grenzen. Deshalb forschen Wissenschaftler daran, trotz dieser physikalischen Grenzen die Rechenleistung von Computern weiter zu steigern und zu verbessern. Es wird versucht Alternativen zu herkömmlichen Computern zu finden und zu entwickeln.²

Das Mooresche Gesetz besagt, dass sich alle 18 Monate die Anzahl an Transistoren auf einer Fläche verdoppelt, d. h. dass sich die notwendige Fläche, die ein Transistor einnimmt, halbiert.³ Doch auch wenn die Größe der Transistoren immer weiter abnimmt, könnten irgendwann die Grenzen dieser Miniaturisierung erreicht sein. Unterhalb einer bestimmten Größe beginnen dann die Gesetzmäßigkeiten der Quantenmechanik zu wirken, „... der rasanten Miniaturisierung sind Grenzen gesetzt. Setzt sich die, vom Mooreschen Gesetz vorausgesagte Entwicklung weiter fort, könnte bald ein Stadium erreicht sein, in dem ein weiteres Schrumpfen unmöglich wird. Unterhalb einer gewissen Größe, dann nämlich, wenn die einzelnen Schaltkreise nur noch durch wenige Atome voneinander getrennt sind, beginnen so genannte Quanteneffekte zu wirken.“⁴ Wann genau die Grenze der Miniaturisierung erreicht sein wird, kann noch nicht mit Sicherheit gesagt werden, aber es besteht Einigkeit darüber, dass sie irgendwann erreicht sein wird.⁵

¹ Podbregar [2001, <http://www.g-o.de/dossier-detail-9-6.html>].

² Vgl. Podbregar [2001, <http://www.g-o.de/dossier-9-1.html>].

³ Vgl. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Mooresches-Gesetz-Moores-law.html>.

⁴ Podbregar [2001, <http://www.g-o.de/dossier-detail-9-4.html>].

⁵ Vgl. Podbregar [2001, <http://www.g-o.de/dossier-detail-9-4.html>].

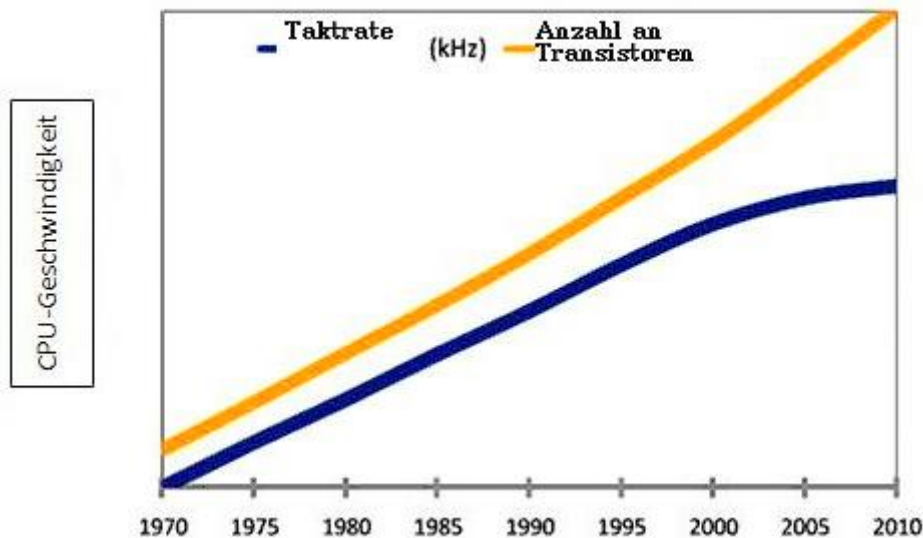


Abbildung 1: Darstellung der Anzahl an Transistoren und der Taktrate im Zeitverlauf⁶

Auch wenn das Mooresche Gesetz weiterhin Gültigkeit besitzt, ist zurzeit eine Steigerung der Leistung durch Erhöhung der Taktgeschwindigkeiten aufgrund von Stromverbrauch und Wärmeabgabe nicht möglich.⁷

Wenn die Grenze der Miniaturisierung erreicht sein sollte, stellt sich die Frage, was getan werden könnte. Die Frage tritt auf, wie und ob dann die Leistung der Computer weiter gesteigert werden kann. Es würde nicht bedeuten, dass die Leistung dann nicht mehr ansteigen könnte, aber es müsste nach Alternativen gesucht werden. „Das heißt ... nicht, dass ab diesem Zeitpunkt keine weiteren Leistungssteigerungen mehr möglich sind, sondern es müssen dann andere Wege beschritten werden. Trotzdem werden sich die Steigerungsraten spätestens zu diesem Zeitpunkt hin stark abflachen.“⁸ Mögliche Alternativen könnten Optische Computer oder Quantencomputer sein.

Das gestiegene Umweltbewusstsein hat mittlerweile auch die Informations- und Kommunikationstechnologie erreicht.⁹ Es stellt sich die Frage, ob Optischer Computer und Quantencomputer dazu beitragen könnten, die Umwelt zu schützen und Energie einzusparen. Dieser Frage soll in der Arbeit nachgegangen werden. Zudem sollen mögliche Einsatzfelder

⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6461> [2007].

⁷ Vgl. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6461> [2007].

⁸ Vowinkel [2006, S. 91]

⁹ Vgl. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/GreenIT-green-IT.html>.

dieser Computer aufgezeigt werden. Es soll versucht werden zu ermitteln, ob es sich bei Optischen Computern und Quantencomputern um mögliche und sinnvolle Alternativen zu herkömmlichen Computern handeln könnte.

1.2 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung, in der Motivation und Zielsetzung dieser Arbeit beschrieben werden, werden im zweiten Kapitel die Grundlagen erläutert. Zunächst wird in Kapitel 2.1 der Optische Computer behandelt. In Kapitel 2.1.1 wird das Modell der optischen Datenverarbeitung beschrieben. Dann wird in Kapitel 2.1.2 ein Optischer Computer definiert und es wird auf die Entwicklung eingegangen. In Kapitel 2.1.3 wird der Aufbau und die Funktionsweise eines Optischen Computers erläutert. Zuerst werden in Kapitel 2.1.3.1 die Photonen behandelt, danach wird in Kapitel 2.1.3.2 der Unterschied zwischen einem Hybridem und einem Rein optischem Rechensystem erläutert. In Kapitel 2.1.4 werden optische Schaltelemente vorgestellt.

In Kapitel 2.2 wird der Quantencomputer erläutert. Zuerst wird in Kapitel 2.2.1 das Mooresche Gesetz erklärt, um danach in Kapitel 2.2.2 die Grenzen der Miniaturisierung aufzuzeigen und in Kapitel 2.2.3 die Gesetzmäßigkeiten der Quantenmechanik zu beschreiben. Danach wird in Kapitel 2.2.4 der Aufbau und die Funktionsweise eines Quantencomputers beschrieben.

In Kapitel drei wird die Green IT behandelt. Der Begriff der Green IT wird in Kapitel 3.1 erläutert. In Kapitel 3.2 wird auf das Konzept der Green IT eingegangen.

Im vierten Kapitel werden Optischer Computer, Quantencomputer und herkömmlicher Computer miteinander verglichen. In Kapitel 4.1 werden die untersuchten Kriterien Auswirkungen auf die Umwelt, Kosten, Rechnerleitung, notwendige Voraussetzungen und Einsatz- und Anwendungsgebiete erläutert. Die befragten Experten werden in Kapitel 4.2 vorgestellt. Danach werden in Kapitel 4.3 die Ergebnisse des Vergleichs aufgezeigt.

Wirtschaftliche Einsatzszenarien von Optischen Computern und Quantencomputern werden in Kapitel fünf vorgestellt. Zunächst werden in Kapitel 5.1 wirtschaftliche Einsatzszenarien von Optischen Computern beschrieben, bevor in Kapitel 5.2 wirtschaftliche Einsatzszenarien von Quantencomputern gezeigt werden.

Die Arbeit endet mit einem Fazit im sechsten Kapitel, in dem die wichtigsten Aussagen noch einmal zusammengefasst werden und ein kurzer Ausblick gegeben wird.

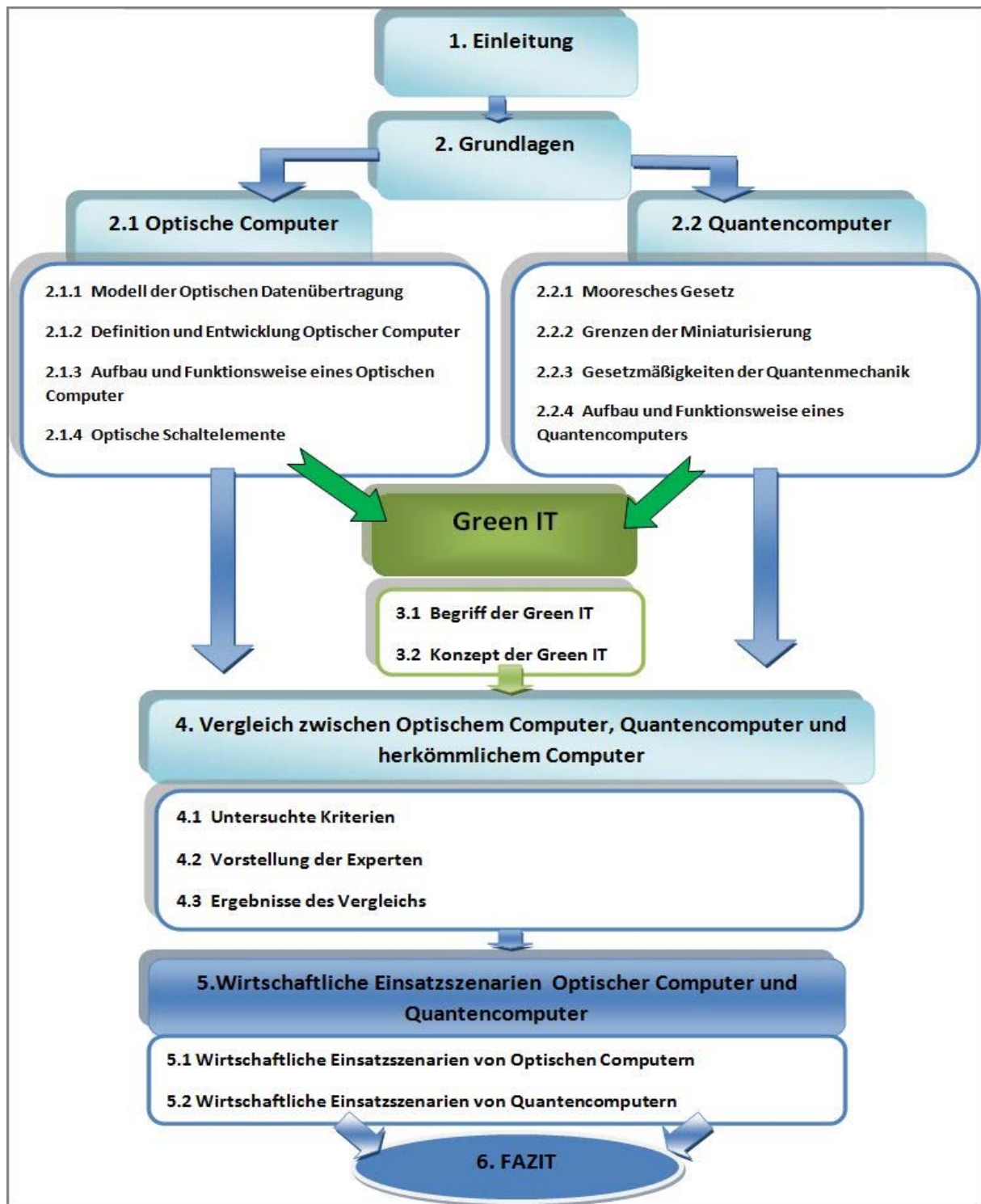


Abbildung 2: Aufbau der Arbeit¹⁰

¹⁰ Eigene Darstellung

6. Fazit

Während der letzten Jahrzehnte konnte beobachtet werden, dass das Mooresche Gesetz Gültigkeit besitzt. Es muss damit gerechnet werden, dass irgendwann die Grenzen dieser Miniaturisierung erreicht sein werden. Dann würden die Gesetzmäßigkeiten der Quantenmechanik zu wirken beginnen. Es stellt sich die Frage, was getan werden könnte, wenn die Grenze der Miniaturisierung erreicht sein sollte. Es müsste nach Alternativen zu den herkömmlichen Computern gesucht werden. Die Frage tritt auf, wie und ob dann die Leistung der Computer weiter gesteigert werden kann.

Wissenschaftler versuchen trotz dieser physikalischen Grenzen die Rechenleistung von Computern weiter zu steigern und zu verbessern, es wird versucht Alternativen zu herkömmlichen Computern zu finden und zu entwickeln.¹⁵³ Optische Computer oder Quantencomputer könnten mögliche Alternativen zu herkömmlichen Computern sein.

Optische Computer und Quantencomputer weisen jedoch große Unterschiede zu herkömmlichen Computern auf. Diese Unterschiede könnten die Entwicklung von Optischen Computern und Quantencomputern positiv beeinflussen und zu deren Entwicklung motivieren oder nachteilig für deren Entwicklung sein.

Werden Optische Computer und Quantencomputer mit herkömmlichen Computern verglichen, ist es schwer klare Aussagen zu treffen. Diese Computerarten wurden auf bestimmten Gebieten miteinander verglichen. Dazu wurden Experteninterviews durchgeführt. Dabei wird oft die Meinung vertreten, dass diese Computer noch gar nicht existieren und daher noch keine Aussagen zu bestimmten Kriterien getroffen werden könnten.

Ein wichtiges Thema ist in dieser Hinsicht Green IT. Denn auch in die Informations- und Kommunikationstechnologie ist das gestiegene Umweltbewusstsein mittlerweile vorgedrungen.¹⁵⁴ Daher kann es wichtig sein zu untersuchen, ob durch den Einsatz von Optischen Computern und Quantencomputern beispielsweise Strom gespart oder Energie eingespart werden kann. Die meisten Experten geben auf die Frage an, dass dazu noch gar keine Aussage getroffen werden könne. Außerdem sei dieser Aspekt bei der Entwicklung dieser Computer überhaupt gar keine Zielsetzung.

Auch die Frage wie viel ein Optischer Computer oder ein Quantencomputer kosten würde, angenommen er könnte hergestellt und zum Verkauf angeboten werden, könne heutzutage

¹⁵³ Vgl. Podbregar [2001, <http://www.g-o.de/dossier-9-1.html>].

¹⁵⁴ Vgl. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/GreenIT-green-IT.html>.

noch nicht beantwortet werden. Es wird gesagt, dass die Preise möglicherweise mit der Zeit sinken könnten, ähnlich wie bei herkömmlichen Computern.

Mit Hilfe insbesondere von Quantencomputern könne zwar eine höhere Rechenleistung erreicht werden, jedoch sei die Rechenleistung dieser Computer heutzutage noch nicht soweit, um mit der herkömmlicher Computer konkurrieren zu können.

Auch müssen teilweise bestimmte Voraussetzungen, beispielsweise bestimmte Anforderungen an das Material, für die weitere Entwicklung von Optischen Computern und Quantencomputern erfüllt sein.

Zudem ist davon auszugehen, dass Einsatzgebiete von Optischen Computern und Quantencomputern begrenzt sein würden. Quantencomputer könnten beispielsweise im Rahmen der Quantenkryptographie oder beim Durchsuchen großer Datenbanken eingesetzt werden. Es wären somit keine Computer für den allgemeinen Anwender, sondern Computer für sehr spezifische Aufgaben.

Schließlich stellt sich die Frage, ob Optischer Computer und Quantencomputer mögliche und sinnvolle Alternativen wären, wenn die Grenze der Miniaturisierung erreicht ist. Auch hier kann gesagt werden, dass es diese Computer noch nicht wirklich gibt und somit keine eindeutige Antwort auf diese Frage möglich ist. Außerdem ist fraglich, ob eine weitere Steigerung der Rechnerleistung für den allgemeinen Anwender überhaupt nötig ist, da die Leistung eines herkömmlichen Computers für die meisten Anwendungen eines normalen Nutzers ausreicht. Andererseits könnte sich beispielsweise der Einsatz von Quantencomputern für Geheimdienste lohnen.