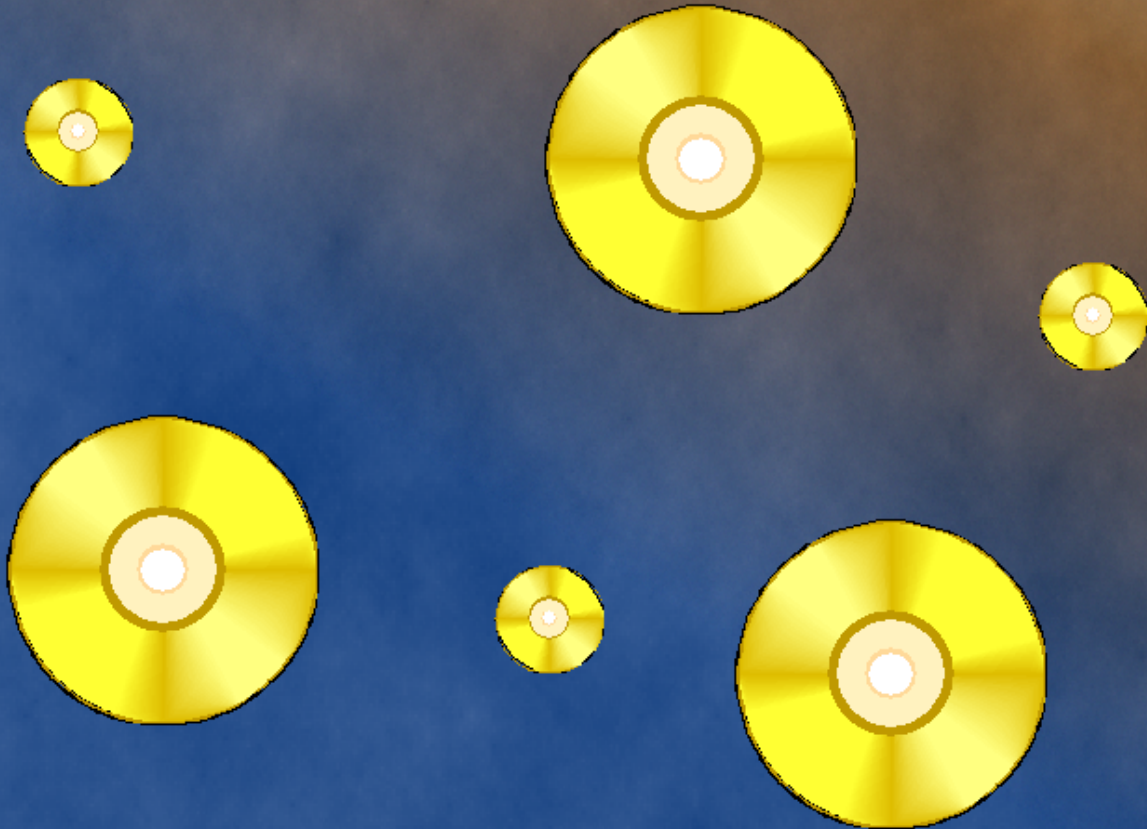


Analyse der Leserate und Suchzeit verschiedener CD-ROM-Laufwerke in Abhängigkeit der CD-ROM

Ein Projekt im Rahmen der Vorlesung
"Computer Systems Performance Analysis and Benchmarking"
gehalten von Prof. Thomas M. Stricker
an der ETH Zürich, WS 2000/01

Sven Müller und Daniel Gisel



Inhalt

1. Einführung	3
1.1 Motivation	3
1.2 Ziele.....	3
2. Workloadbeschreibung.....	4
3. Systembeschreibung	6
3.1 Hardware.....	6
3.2 Software	6
4. Faktoren und Parameter	7
4.1 Faktoren	7
4.2 Parameter.....	7
4.3 Laufwerkstypen	8
5. Test.....	10
5.1 Vorgehen.....	10
5.2 Resultate	10
6. Analyse.....	12
6.1 Leseraten	12
6.2 Seek Times.....	13
6.3 Fazit.....	14
7. Anhang	15
7.1 Referenzen.....	15
7.2 Tabellen.....	15

1. Einführung

1.1 Motivation

Wenn man heutzutage mit einem PC arbeitet und vor allem wenn man auch noch Spiele darauf laufen lässt, braucht man sehr oft ein CD-Laufwerk. Doch meistens wird es dann ziemlich mühsam, weil man häufig die Datenträger wechseln muss und vor allem, weil alles viel langsamer läuft als mit der Festplatte.

Auch die Verwendung von selbst gebrannten CDs bringt immer wieder gewisse Probleme mit sich. Gewisse Laufwerke erkennen den eingelegten Datenträger gar nicht, andere können ihn lesen, aber viel langsamer als andere CDs und dann gibt es zum Glück auch noch diese Sorte von Laufwerken (oft CD-Brenner), die keinen grossen Unterschied machen.

Auch wir kennen dieses Gefühl, und wie viele andere haben wir uns in einer solchen Situation schon oft ein schnelleres CD-Laufwerk gewünscht, das mit allen Arten von CDs ein flüssiges arbeiten (oder spielen) ermöglicht.

Doch was heisst überhaupt ein schnelleres CD-Laufwerk? In den Angeboten der Computerhersteller findet man überall Zahlen, die angeben, dass ihre Laufwerke mit x-facher Geschwindigkeit arbeiten.

Aber ist ein 32-fach-Laufwerk wirklich 4 mal schneller als ein 8-fach? Wie verhalten sich die Laufwerke gegenüber gepressten und gebrannten CDs? Wie verhält sich eigentlich ein DVD-Laufwerk im Vergleich zu "normalen" CD-Laufwerken?

Um etwas Licht in diese Fragen zu bringen, haben wir uns entschieden einige CD-Laufwerke zu untersuchen und die Resultate in diesem Text darzulegen.

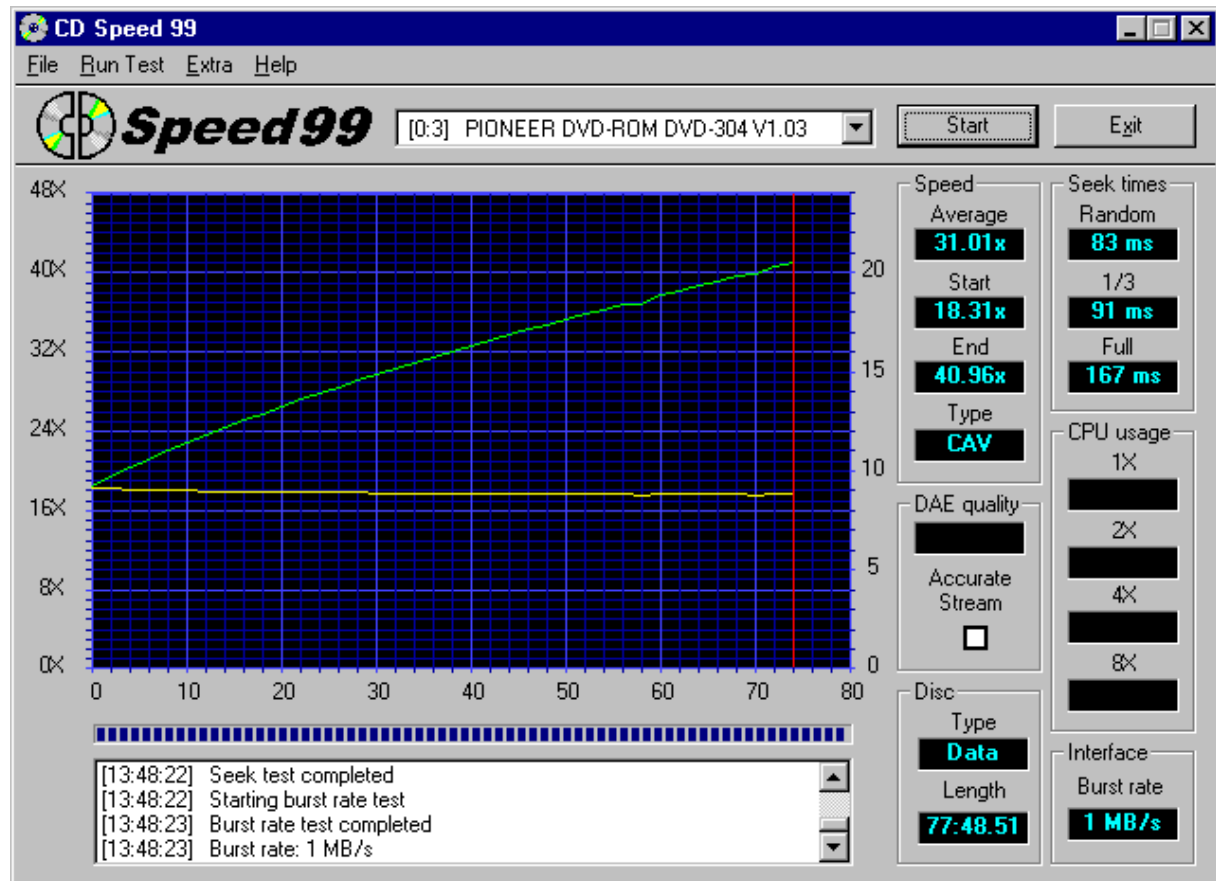
1.2 Ziele

Unsere Ziele definierten wir wie folgt:

- ✓ Testen und Analysieren der verschiedenen Verhaltensweisen von CD-ROM-Laufwerken.
- ✓ Geschwindigkeitsverhalten in Abhängigkeit der Geschwindigkeitsangabe durch den Hersteller untersuchen.
- ✓ Geschwindigkeitsverhalten der Laufwerke in Abhängigkeit der Datenträger (gebrannt, gepresst) bestimmen
- ✓ Suchverhalten der Laufwerke in Abhängigkeit des Types (CD-ROM, CD-R, DVD) untersuchen

2. Workloadbeschreibung:

Für unsere Messungen benutzen wir das Programm CD Speed 99 Version 0.8 Beta, das unter URL <http://www.cdspeed2000.com> heruntergeladen werden kann. Es läuft unter Win95/98/2000/NT.



Mit CD Speed 99 ist es möglich, die Lesegeschwindigkeit in Abhängigkeit der Position auf der CD zu messen. Um die Werte zu erhalten, liest das Programm an verschiedenen Positionen (von innen nach aussen) auf der CD je eine gewisse Datenmenge und stoppt die dazu benötigte Zeit. Die Anzahl der Messpunkte und die Grösse der zu lesenden Datenmenge lässt sich vom Benutzer einstellen.

Die Ausgabe besteht aus der Durchschnittsgeschwindigkeit über die ganze CD, der ersten gemessenen Geschwindigkeit (ganz innen in der CD), der Endgeschwindigkeit (am äusseren Rand des beschriebenen Teils der CD) und einem Graph, der den Verlauf der Lese- und Drehgeschwindigkeit über die ganze CD darstellt. Die Lesegeschwindigkeiten werden immer als Mehrfaches von 150 kBytes/Sekunde (1-fach) dargestellt.

Die Skala unter dem Graphen gibt die Position (in Minuten, 0min am inneren Rand der CD, → 80min am äusseren Rand der CD) an, bei der sich der Lesekopf momentan befindet. Die grüne Kurve im Graph stellt die Lesegeschwindigkeit (150 kBytes/s) in Abhängigkeit der Position dar und ist mit der Skala am linken Rand beschriftet (0X, 8X, 16X, ...). Die gelbe Kurve ist die Drehgeschwindigkeit

(1000 Umdrehungen/Minute) der CD in Abhängigkeit des Lesekopfes. Die dazugehörige Skala befindet sich am rechten Rand des Graphen (0, 5, 10, ...).

Weiter lassen sich mit CD Speed 99 auch die Suchzeiten (seek times, Zeit, die der Lesekopf benötigt um von einer Position zu einer anderen zu kommen) messen. Dazu werden drei verschiedene Werte ausgegeben: Die random seek time (Durchschnitte von zufällig gewählten Bewegungen), die 1/3 stroke seek time (Zeit, die der Kopf benötigt um einen Drittel des beschrifteten Bereichs der CD zu überspringen) und die full stroke seek time (Zeit, die der Kopf benötigt um den ganzen beschrifteten Bereich der CD zu überspringen). Die Messresultate werden in Millisekunden angegeben.

CD Speed 99 unterstützt auch noch einige weitere Messungen, die aber für unsere Arbeit nicht benötigt wurden und darum auch nicht weiter ausgeführt werden.

Da der Entwickler von CD Speed 99 seit Februar 2001 für Ahead Software arbeitet, heisst das Programm nun neu Nero CD Speed, ist aber abgesehen vom neuen Logo das gleiche wie vorher. Alle unsere Messungen wurden noch mit CD Speed 99 durchgeführt. [cds]

3. Systembeschreibung

3.1 Hardware

Als Testsystem diente uns ein Standard-PC mit einem Pentium-Prozessor (133 MHz) und 32 MB EDO-RAM. Dies mag zwar ein wenig antiquiert anmuten, aber für einen CD-Benchmark ist dieses System absolut genügend, da weder Prozessorleistung noch schneller Speicher gefragt sind.

Weitaus interessanter ist jedoch der SCSI-Hostadapter: Die Laufwerke wurden an einen Adaptec AHA-2940 (10MB/s) mit SCSI-ID 3-6 (alle frei) angeschlossen. Dies ist zwar auch nicht die neuste Adapterkarte, angesichts der niedrigen Datenrate von CD-Laufwerken (0.3 (2x) bis 6 MB/s (40x)) ist deren Einfluss vernachlässigbar.

Die getesteten CD-Laufwerke waren alles SCSI-Laufwerke. Unter ihnen befanden sich 2 CD-Brenner sowie ein DVD-Laufwerk. Sie wurden jeweils einzeln ins System montiert. Wir entschieden uns für SCSI-Laufwerke, weil sie einfacher zu handhaben sind und ein Laufwerksaustausch nicht zu einem Treiberaustausch führt.

Die getesteten CDs waren alle sauber und ohne sichtbare Kratzer oder Beschädigungen. Wir verwendeten 3 Original-CDs verschiedener Herkunft und zwei mit Bildmaterial gefüllte CD-Rohlinge verschiedener Hersteller.

3.2 Software

Die Benchmarksoftware (siehe „2. Workloadbeschreibung“) lief unter Microsoft Windows NT 4.0, Service Pack 6.0, wobei sämtliche evtl. störende Prozesse (z.B. Virens Scanner) vorgängig entfernt wurden.

Da das Benchmarkprogramm relativ klein ist und auch keine unnötigen Prozesse aktiv waren, fanden auch praktisch keine störenden Zugriffe auf die Festplatte statt, die das Resultat negativ beeinflussen könnten.

4. Faktoren und Parameter

4.1 Faktoren

Wir verwendeten folgende Faktoren in unserer Testanordnung:

- ✓ Laufwerk (Typ, Rotationsgeschwindigkeit)

Hersteller	Laufwerk	Firmware	Speed	Typ
Compaq	CD-ROM CR-503BCQ	1.1c	2x	CLV
Matshita	CD-R CW-7502	4.16	8x	CLV
Toshiba	CD-ROM XM-3801TA	0207	16x	P-CAV
Toshiba	CD-ROM XM-6201TA	1030	32x	CAV
Sony	CD-RW CRX140S	1.0e	32x	CAV
Pioneer	DVD-ROM DVD-304	1.03	40x	CAV

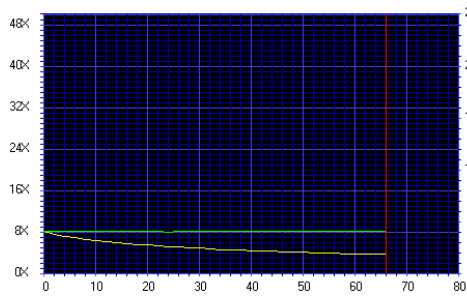
- ✓ Grösse (beschriebener Platz) der eingelegten CD

CD	Grösse
Banana Buchhaltung 4.0	48 MB
Microsoft Visual Studio 6.0 P, CD 2	368 MB
PCWelt Shareware-CD (12/2000)	683 MB
Pioneer CDM-V74S (1 Session CD-R)	129 MB
Imation CDR 8x (1 Session CD-R)	471 MB

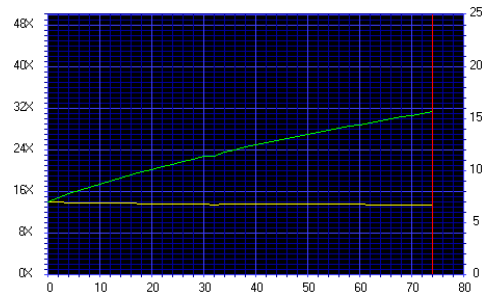
Diese zwei Faktoren variierten wir alle gegeneinander. Es ist interessant, dass die Grösse einer CD (beschriebener Platz) einen grossen Einfluss auf die Lesegeschwindigkeit eines Laufwerks hat. Mehr dazu im Abschnitt „4.3 Laufwerkstypen“

4.2 Parameter:

Wir beschränkten uns in diesem Test ausschliesslich auf Daten-CDs (ISO 9660 / Joliet). Eine Ausweitung auf Audio-CDs wäre nicht sinnvoll gewesen, da gewisse Laufwerke komplett andere Verhaltensweisen zeigen, je nachdem, ob eine Audio- oder eine Daten-CD eingelegt ist.



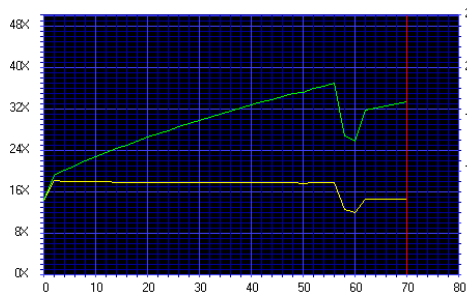
Das Sony CDRW mit eingelegter Audio-CD.
(grün: Leserate,
gelb: Rotationsgeschwindigkeit,
x-Achse: Position auf CD in min)



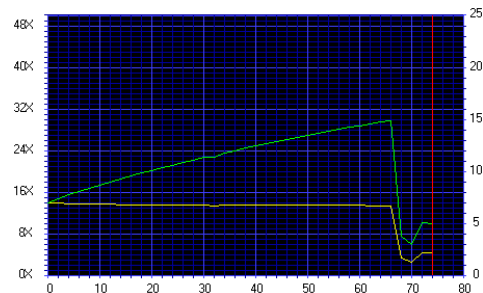
Das selbe Laufwerk mit eingelegter Daten-CD.

Bei Audio-CDs ist die Leserate alleine ohnehin nicht entscheidend. Meist ist ein kontinuierlicher Datenfluss wichtiger (z.B. beim digitalen Hören von Audio-CDs mittels Audio-Extraktion)

Ein weiterer wichtiger Parameter ist der Zustand der eingelegten CDs an sich: Weist eine CD Schmutz, Kratzer oder gar stärkere Beschädigungen auf, so wird die Rotationsgeschwindigkeit angepasst. Damit sinkt natürlich auch die Leserate.



Das DVD-Laufwerk nach einem Lesefehler kurz vor Minute 60.



Das Sony CDRW-Laufwerk legt nach einem Lesefehler das Schneckentempo ein.

Das Verhalten der Laufwerke nach Lesefehlern wäre sicher interessant zu untersuchen, würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Wir arbeiteten deshalb stets mit praktisch ungebrauchten und sauberen CDs.

4.3 Laufwerkstypen

Wie in Abschnitt 4.1 angesprochen, gibt es mehrere verschiedene Laufwerkstypen. Diese unterscheiden sich im Verhalten der Leserate bei veränderlicher Position des Lesekopfs. Es ist jedoch nicht möglich, einem bestimmten Laufwerk einen bestimmten Typ zuzuordnen, da sich ein Laufwerk je nach eingelegter CD (Audio oder Daten) anders verhalten kann. Siehe dazu das Beispiel unter „4.2 Parameter“

Man unterscheidet grundsätzlich zwei verschiedene Typen und deren Mischformen:

✓ **CLV-Laufwerke**

„CLV“ steht für „Constant Linear Velocity“. Das heisst, der Laser liest die CD mit konstanter Geschwindigkeit, egal, ob er sich am inneren Rand oder am äusseren Rand befindet. Dementsprechend muss wegen des grösseren Radius die Drehzahl gedrosselt werden, je weiter nach aussen sich der Laser verschiebt. Genau gleich liest der Hifi-CD-Player eine CD, da er die Musik ja immer mit konstanter Geschwindigkeit abspielen muss.

✓ **CAV-Laufwerke**

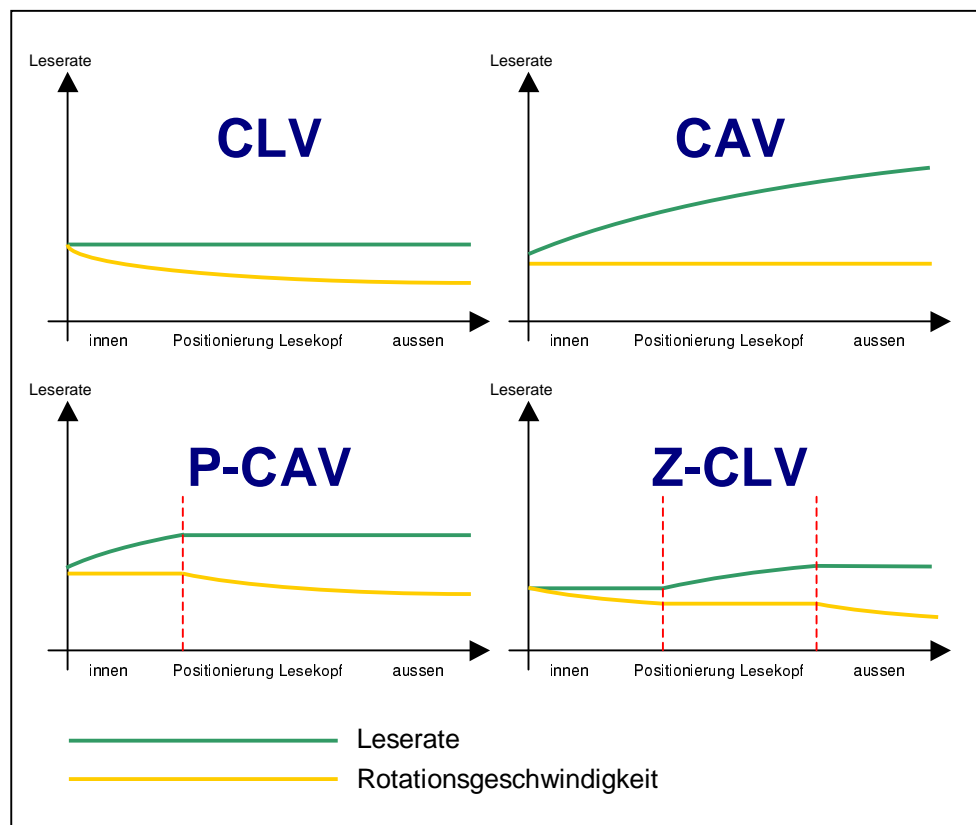
„CAV“ bedeutet „Constant Angular Velocity“. CAV-Laufwerke lassen die eingelegte Disc immer gleich schnell rotieren. Deshalb steigt die Leserate mit zunehmendem Radius. CAV-Laufwerke erreichen die angegebene Geschwindigkeit meist nur am äussersten Rand.

✓ **P-CAV-Laufwerke**

(„Partial Constant Angular Velocity“) Diese Laufwerke sind eine Mischform. Bei kleinem Radius (Position des Lesekopfes) verhält sich das Laufwerk wie ein CAV, bei grösseren Radien wie ein CLV-Laufwerk.

✓ **Z-CLV-Laufwerke**

Obwohl wir kein solches Laufwerk in unserer Testanordnung haben, möchte ich noch kurz auf die zweite, etwas weniger verbreitete Mischform eingehen: Die „Zoned Constant Linear Velocity“-Laufwerke. Sie verhalten sich ähnlich wie P-CAV-Laufwerke, beginnen jedoch zusätzlich mit einem CLV-Teil im inneren Bereich einer CD. [cdfs]



5. Test

5.1 Vorgehen

Wir entschieden uns, jedes Laufwerk mit jeder Disk zu testen, also für insgesamt 30 Messungen. Jede Messung ergibt folgende Werte:

- ✓ Leserate auf der innersten Spur
- ✓ Leserate auf der äussersten Spur
- ✓ Durchschnittliche Leserate über die ganze CD (setzt sich aus vielen Einzelmessungen zusammen)
- ✓ Suchzeit (Random Search)

Für unsere Analyse verwendeten wir jedoch nur die zwei letzten Werte.

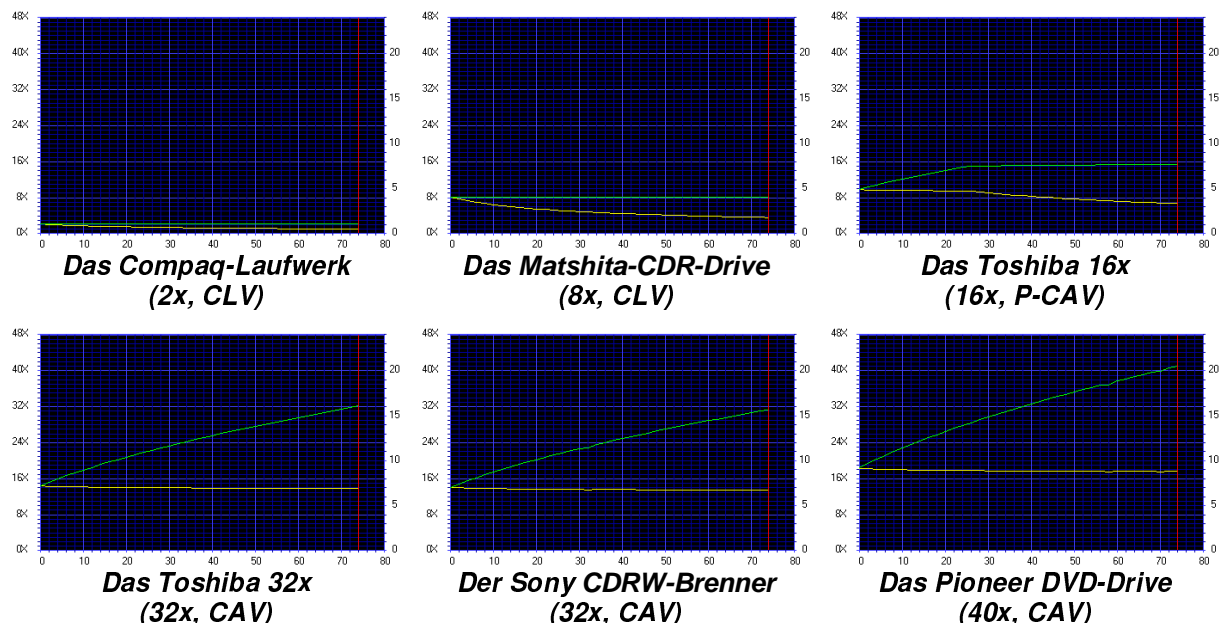
So bauten wir jedes Laufwerk einzeln ein und testeten sämtliche CDs. Wir achteten sorgfältig darauf, dass keine unnötigen Zugriffe auf den SCSI-Bus stattfanden. Die AutoRun-Funktionalität von Windows NT schalteten wir ab.

5.2 Resultate

Die Resultate unserer Testserie werden in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Bei den Leseraten wird immer die Geschwindigkeit bezüglich der Rotationsgeschwindigkeit einer Audio-CD angegeben.

Ein Audio-CD-Player liest 75 Sektoren pro Sekunde. Ein Sektor umfasst (bei Daten-CDs) 2048 Bytes. Das ist also ein Durchsatz von genau 150 kB/s. Wer also die Angaben in kB/s umrechnen will, muss die Resultate mit diesem Wert multiplizieren. [cdrfaq]

Übersicht über das Verhalten der Laufwerke:



Leseraten auf der innersten Spur:

	Compaq (2x)	Matshita (8x)	Toshiba (16x)	Toshiba (32x)	Sony (32x)	Pioneer (40x)
48 MB	2.01	7.99	9.75	14.28	13.59	16.70
129 MB	2.01	8.01	9.82	14.57	15.51	19.07
368 MB	2.01	7.99	9.69	14.24	13.93	17.13
471 MB	2.01	8.01	9.84	14.55	15.53	19.09
683 MB	1.98	7.99	9.67	14.36	13.99	18.31

Leseraten auf der äussersten Spur:

	Compaq (2x)	Matshita (8x)	Toshiba (16x)	Toshiba (32x)	Sony (32x)	Pioneer (40x)
48 MB	2.01	8.00	10.38	15.21	14.47	17.79
129 MB	2.01	8.01	12.68	18.79	20.00	24.60
368 MB	2.01	8.00	15.02	26.49	25.91	31.88
471 MB	2.01	8.01	15.16	28.29	30.19	36.96
683 MB	2.00	8.00	15.27	32.09	31.28	40.96

Leseraten Durchschnitt:

	Compaq (2x)	Matshita (8x)	Toshiba (16x)	Toshiba (32x)	Sony (32x)	Pioneer (40x)
48 MB	2.01	7.99	10.07	14.74	14.03	17.25
129 MB	2.01	8.01	11.30	16.76	17.83	21.93
368 MB	2.01	8.00	13.49	20.94	20.47	25.19
471 MB	2.01	8.01	13.82	22.12	23.59	29.01
683 MB	2.01	8.00	14.16	24.31	23.68	31.01

Suchzeiten (Random):

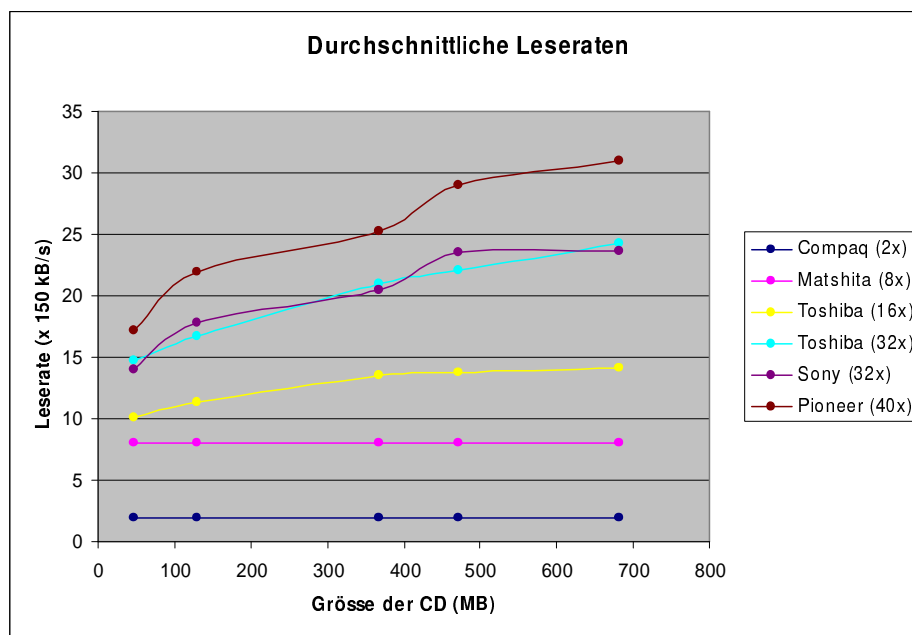
	Compaq (2x)	Matshita (8x)	Toshiba (16x)	Toshiba (32x)	Sony (32x)	Pioneer (40x)
48 MB	101	110	56	69	75	66
129 MB	129	131	71	78	77	100
368 MB	187	158	82	95	102	75
471 MB	217	182	99	84	95	85
683 MB	272	203	98	92	103	83

6. Analyse

6.1 Leseraten

Über alle Laufwerke gesehen, ist die Lesegeschwindigkeit eigentlich wie erwartet, jedoch sind die Differenzen zwischen gewissen Laufwerken (besonders bei den schnelleren) nicht sehr gross. Dies wird vor allem durch die Tatsache hervorgerufen, dass die Laufwerke mit hohen Geschwindigkeiten nach dem CAV-Prinzip arbeiten. Dies hat zur Folge, dass die durchschnittliche Lesegeschwindigkeit dieser Laufwerke relativ klein ist, während bei den langsamen CLV-Laufwerken die Durchschnittsgeschwindigkeit der Maximalgeschwindigkeit entspricht.

Aus demselben Grund ist auch der Einfluss der einzelnen CDs nicht gerade überwältigend. Es sind meist nur Trends festzustellen, es kristallisiert sich jedoch klar heraus, dass die grösseren „Scheiben“ schneller sind. Um den Einfluss der Disks auf die durchschnittliche Leserate genauer zu untersuchen, werden wir die CAV-Laufwerke separat betrachten. Dies macht Sinn, da die heutigen Laufwerke sowieso meist mit dieser Technik arbeiten.



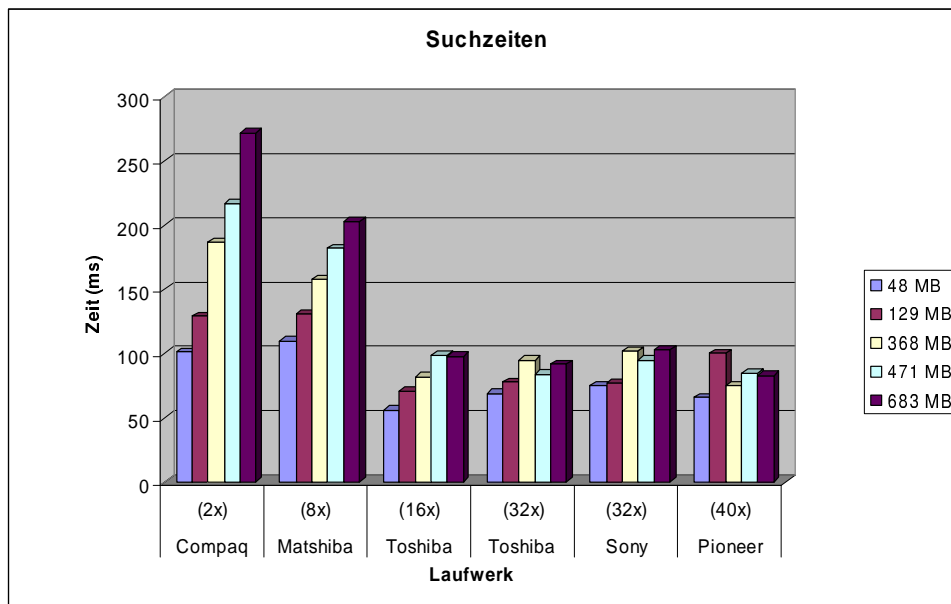
Die durchschnittliche Leserate aller Laufwerke im Überblick

Betrachtet man jedoch nur die CAV-Laufwerke, so lässt sich etwas mehr über deren Verhalten und den Einfluss der Disks sagen. So lässt sich mit über 99% Sicherheit sagen, dass das 40x Laufwerk wirklich schneller ist als seine 32x Kollegen. Der Einfluss der Disk wird nun zunehmend sichtbar. So ist die Wahl zwischen 32x und 40x nur zu etwa 25 % entscheidend. Die CD-Grösse hat einen Einfluss von über 70%. Diese Aussage ist jedoch mit Vorsicht zu geniessen, da wir nur drei solche Laufwerke im Test hatten und diese nur zwei verschiedene Geschwindigkeiten hatten.

Zwischen gebrannten und gepressten CDs konnten wir keine signifikanten Unterschiede feststellen.

6.2 Seek Times

Bei den Seek Times hätten wir uns etwas deutlichere Resultate erhofft. Unsere Erwartung, dass die Brenner wegen des schwereren Lesekopfes deutlich höhere Suchzeiten aufweisen, hat sich nicht bestätigt. Obwohl dieser Umstand im Trend leicht sichtbar ist, sind diese Messungen nicht signifikant genug, um einen solchen Zusammenhang zu bestätigen. Dies liegt wohl vor allem am kleinen Umfang des Experiments (im Gegensatz zur durchschnittlichen Leserate, die sich aus vielen Teilmessungen zusammensetzt) und der Tatsache, dass die zu suchenden Sektoren nach dem Zufallsprinzip ausgesucht werden. Auf diese Art werden die Fehler relativ gross.



Die Suchzeiten der Laufwerke verhalten sich zum Teil etwas zufällig...

Trotzdem lässt sich sagen, dass sich die Laufwerke generell in zwei Gruppen aufteilen lassen CLV und (P-)CAV. Dieser Umstand erstaunt nicht weiter, da die CLV-Laufwerke alle älter sind. Ausserdem müssen sie nach jeder Verschiebung des Lesekopfes die Drehzahl neu kalibrieren, was auch etwas Zeit in Anspruch nimmt.

Dass sich die Seek Times mit zunehmender Grösse der eingelegten Disk ebenfalls erhöhen, ist klar durch den Umstand, dass sich die Weglänge ebenfalls vergrössert.

Im Anhang befinden sich die Rechnungstabellen und weitere Grafiken.

6.3 Fazit

Bei heutigen Laufwerken spielt die Positionierung der Daten auf einer CD eine wichtige Rolle. Deshalb sollten häufig genutzte Daten möglichst weit an den Rand geschrieben werden. Soviel ich weiss, sind bereits Brennprogramme auf dem Markt, welche es ermöglichen, solche Files speziell zu markieren und dementsprechend an den äusseren Rand zu brennen.

Dass die hohen Geschwindigkeits-Angaben seitens der Hersteller nicht immer das halten, was sie versprechen, ist meist bekannt. Eine etwas klarere Deklaration der Produkte wäre jedoch sicher sinnvoll.

7. Anhang

7.1 Referenzen

- [jain]** Raj Jain:
The Art Of Computer Systems Performance Analysis
(Techniques for experimental design, measurement, simulation, and
modelling)
Verlag: Wiley
- [cds]** CDSpeed Homepage
<http://www.cdspeed2000.com>
- [cdrfaq]** Andy McFadden's CD-Recordable FAQ
<http://www.cdrfaq.org>

7.2 Tabellen

Hier im Anhang befinden sich die alle Rechnungstabellen, die wir für die Auswertung benötigten. Ausserdem sind hier noch einige Grafiken, die wir der Vollständigkeit halber und zur Verdeutlichung unserer Resultate beigefügt haben.

Analyse Durchschnittswerte Leserate alle Laufwerke

Modell: $y_{ij} = \mu + \alpha_j + \beta_i + e_{ij}$

	Compaq (2x)	Matshita (8x)	Toshiba (16x)	Toshiba (32x)	Sony (32x)	Pioneer (40x)	Summe	Mean	Effect β_i
48 MB	2.01	7.99	10.07	14.74	14.03	17.25	66.09	11.02	-3.51
129 MB	2.01	8.01	11.30	16.76	17.83	21.93	77.84	12.97	-1.55
368 MB	2.01	8.00	13.49	20.94	20.47	25.19	90.10	15.02	0.49
471 MB	2.01	8.01	13.82	22.12	23.59	29.01	98.56	16.43	1.90
683 MB	1.98	8.00	14.16	24.31	23.68	31.01	103.14	17.19	2.67
Summe	10.02	40.01	62.84	98.87	99.60	124.39	435.73		
Mean	2.00	8.00	12.57	19.77	19.92	24.88		14.52	= μ
Effect α_j	-12.52	-6.52	-1.96	5.25	5.40	10.35			

ANOVA Table:

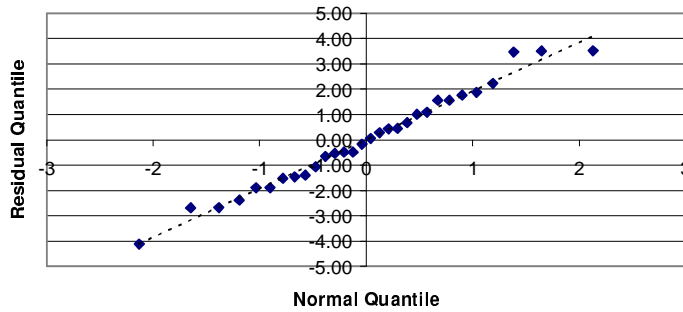
Component			Sum of Squares	Percent. of Var	Degrees Freedom	Mean Square	F-Comp.	F-Table
Y	SSY	Σy_{ij}^2	8426.96					$F_{[99\%;DF-1, 20]}$
Y_{mean}	SS0	$ab\mu^2$	6328.69					
$Y - Y_{mean}$	SST	$SSY - SS0$	2098.27	100.00%	29			
Drives	SSA	$b \Sigma \alpha_j^2$	1834.99	87.45%	5	367.00	67.24	4.10
Disks	SSB	$a \Sigma \beta_i^2$	154.13	7.35%	4	38.53	7.06	4.43
Errors	SSE	$SST - SSA - SSB$	109.15	5.20%	20	5.46		
s_e		2.34						
s_{μ}^2		0.18						
$s_{\alpha_j}^2$		0.91						
$s_{\beta_i}^2$		0.73						
$t_{[0.995; (a-1)(b-1)]}$		2.845						

Confidence Intervals for Effects:

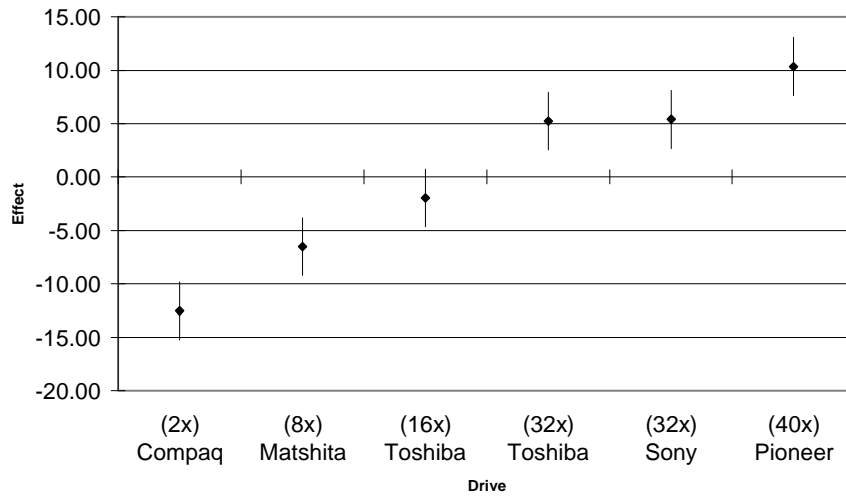
Mean	μ	14.52	±	1.21	(	13.31	14.52	15.74)
Compaq	(2x)	-12.52	±	2.71	(	-15.23	-12.52	-9.81)
Matshita	(8x)	-6.52	±	2.71	(	-9.24	-6.52	-3.81)
Toshiba	(16x)	-1.96	±	2.71	(	-4.67	-1.96	0.76)
Toshiba	(32x)	5.25	±	2.71	(	2.54	5.25	7.96)
Sony	(32x)	5.40	±	2.71	(	2.68	5.40	8.11)
Pioneer	(40x)	10.35	±	2.71	(	7.64	10.35	13.07)
48 MB		-3.51	±	2.43	(	-5.94	-3.51	-1.08)
129 MB		-1.55	±	2.43	(	-3.98	-1.55	0.88)
368 MB		0.49	±	2.43	(	-1.93	0.49	2.92)
471 MB		1.90	±	2.43	(	-0.52	1.90	4.33)
683 MB		2.67	±	2.43	(	0.24	2.67	5.09)

Analyse Durchschnittswerte Leserate alle Laufwerke

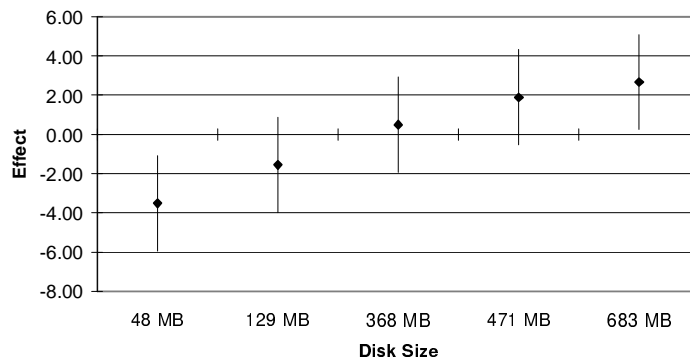
Normal Quantile-Quantile-Plot



Confidence Intervals for Drive Effects



Confidence-Intervals for Disk Effects



Analyse Durchschnitts Leserate CAV Laufwerke

Modell: $y_{ij} = \mu + \alpha_j + \beta_i + e_{ij}$

	Toshiba (32x)	Sony (32x)	Pioneer (40x)	Summe	Mean	Effect β_i
48 MB	14.74	14.03	17.25	46.02	15.34	-6.18
129 MB	16.76	17.83	21.93	56.52	18.84	-2.68
368 MB	20.94	20.47	25.19	66.60	22.20	0.68
471 MB	22.12	23.59	29.01	74.72	24.91	3.38
683 MB	24.31	23.68	31.01	79.00	26.33	4.81
Summe	98.87	99.60	124.39	322.86		
Mean	19.77	19.92	24.88		21.52	= μ
Effect α_j	-1.75	-1.60	3.35			

ANOVA Table:

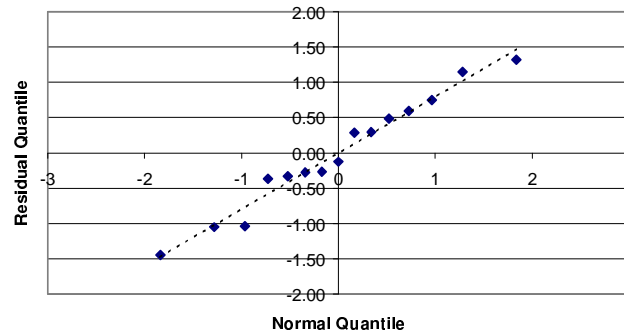
Component			Sum of Squares	Percent. of Var	Degrees Freedom	Mean Square	F-Comp.	F-Table $F_{[99\%, DF, 8]}$
Y	SSY	$\sum y_{ij}^2$	7284.14					
Y_{mean}	SS0	$ab\mu^2$	6949.24					
$Y - Y_{mean}$	SST	$SSY - SS0$	334.91	100.00%	14			
Drives	SSA	$b \sum \alpha_j^2$	84.42	25.21%	2	42.21	37.28	8.65
Disks	SSB	$a \sum \beta_i^2$	241.42	72.09%	4	60.36	53.31	7.01
Errors	SSE	$SST - SSA - SSB$	9.06	2.70%	8	1.13		
S_e		1.06						
S_{μ}^2		0.08						
$S_{\alpha_j}^2$		0.15						
$S_{\beta_i}^2$		0.30						
$t_{[0.995; (a-1)(b-1)]}$		3.355						

Confidence Intervals for Effects:

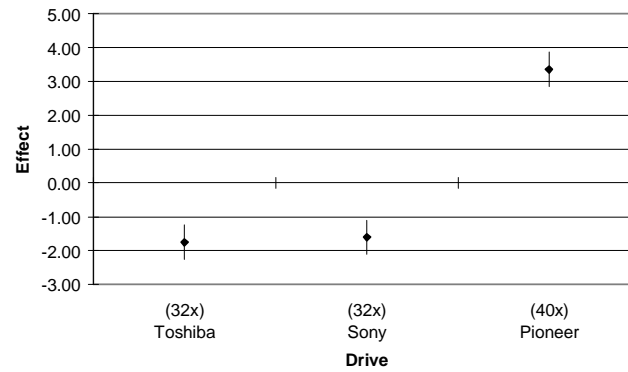
Mean	μ	21.52	±	3.57	(	17.95	21.52	25.09)
Toshiba	(32x)	-1.75	±	0.51	(	-2.26	-1.75	-1.24)
Sony	(32x)	-1.60	±	0.51	(	-2.11	-1.60	-1.10)
Pioneer	(40x)	3.35	±	0.51	(	2.85	3.35	3.86)
48 MB		-6.18	±	1.01	(	-7.20	-6.18	-5.17)
129 MB		-2.68	±	1.01	(	-3.70	-2.68	-1.67)
368 MB		0.68	±	1.01	(	-0.34	0.68	1.69)
471 MB		3.38	±	1.01	(	2.37	3.38	4.40)
683 MB		4.81	±	1.01	(	3.80	4.81	5.82)

Analyse Durchschnittswerte Leserate CAV Laufwerke

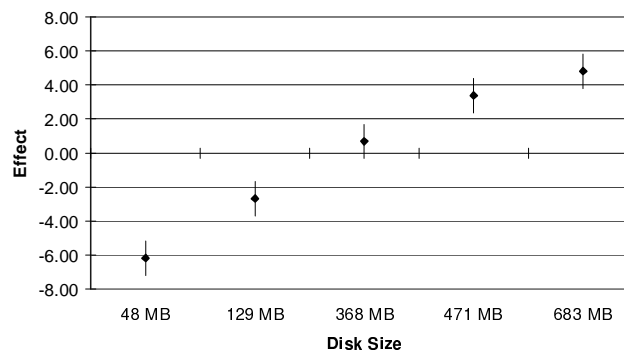
Normal Quantile-Quantile-Plot



Confidenc Intervals for Drive Effects



Confidence Intervals for Disk Effects



Analyse verschiedener CD-ROM-Laufwerke in Abhängigkeit der CD-ROM

Analyse Random-Seektimes alle Laufwerke

Modell: $y_{ij} = \mu + \alpha_j + \beta_i + e_{ij}$

	Compaq (2x)	Matshiba (8x)	Toshiba (16x)	Toshiba (32x)	Sony (32x)	Pioneer (40x)	Summe	Mean	Effect β_i
48 MB	101	110	56	69	75	66	477.00	79.50	-33.00
129 MB	129	131	71	78	77	100	586.00	97.67	-14.83
368 MB	187	158	82	95	102	75	699.00	116.50	4.00
471 MB	217	182	99	84	95	85	762.00	127.00	14.50
683 MB	272	203	98	92	103	83	851.00	141.83	29.33
Summe	906.00	784.00	406.00	418.00	452.00	409.00	3375.00		
Mean	181.20	156.80	81.20	83.60	90.40	81.80		112.50	= μ
Effect α_j	68.70	44.30	-31.30	-28.90	-22.10	-30.70			

ANOVA Table:

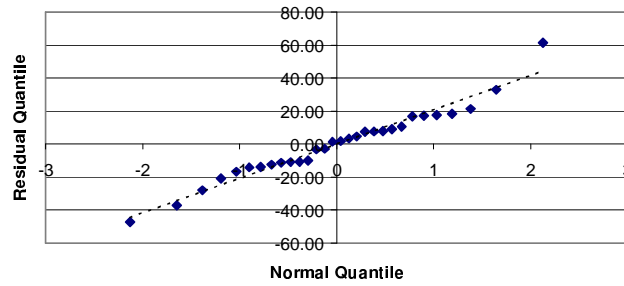
Component			Sum of Squares	Percent. of Var	Degrees Freedom	Mean Square	F-Comp.	F-Table $F_{[99\%;DF, 20]}$
Y	SSY	$\sum y_{ij}^2$	456825.00					
Y_{mean}	SS0	$ab\mu^2$	379687.50					
$Y - Y_{mean}$	SST	$SSY - SS0$	77137.50	100.00%	29			
Drives	SSA	$b \sum \alpha_j^2$	49639.90	64.35%	5	9927.98	15.13	4.10
Disks	SSB	$a \sum \beta_i^2$	14374.33	18.63%	4	3593.58	5.48	4.43
Errors	SSE	$SST - SSA - SSB$	13123.27	17.01%	20	656.16		
S_e		25.62						
S_u^2		21.87						
S_{aj}^2		109.36						
S_{bj}^2		87.49						
$t_{[0.995; (a-1)(b-1)]}$		2.845						

Confidence Intervals for Effects:

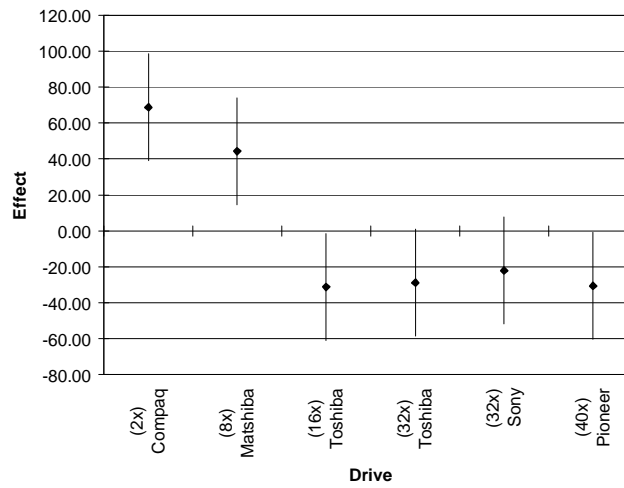
Mean μ		112.500	±	13.31	(	99.19	112.50	125.81)
Compaq (2x)		68.70	±	29.75	(	38.95	68.70	98.45)
Matshiba (8x)		44.30	±	29.75	(	14.55	44.30	74.05)
Toshiba (16x)		-31.30	±	29.75	(	-61.05	-31.30	-1.55)
Toshiba (32x)		-28.90	±	29.75	(	-58.65	-28.90	0.85)
Sony (32x)		-22.10	±	29.75	(	-51.85	-22.10	7.65)
Pioneer (40x)		-30.70	±	29.75	(	-60.45	-30.70	-0.95)
48 MB		-33.00	±	26.61	(	-59.61	-33.00	-6.39)
129 MB		-14.83	±	26.61	(	-41.44	-14.83	11.78)
368 MB		4.00	±	26.61	(	-22.61	4.00	30.61)
471 MB		14.50	±	26.61	(	-12.11	14.50	41.11)
683 MB		29.33	±	26.61	(	2.72	29.33	55.94)

Analyse Random-Seektimes alle Laufwerke

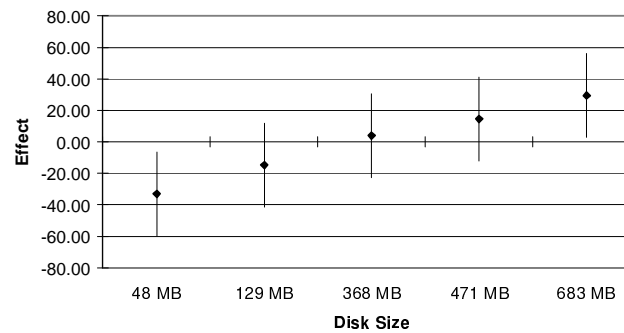
Normal Quantile-Quantile-Plot



Confidence Intervals for Drive Effects



Confidence Intervals for Disk Effects



Analyse CD vs CD-R

Model: $y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_i + \gamma_{ij} + \epsilon_{ijk}$

		Toshiba (16x)	Toshiba (32x)	Sony (32x)	Pioneer (40x)	Summe	Mean	Effect β_i
CD	48 MB	9.75	14.28	13.59	16.70	110.65	13.83	-0.46
	683 MB	9.67	14.36	13.99	18.31			
CD-R	129 MB	9.82	14.57	15.51	19.07	117.98	14.75	0.46
	471 MB	9.84	14.55	15.53	19.09			
Summe		39.08	57.76	58.62	73.17	228.63		
Mean		9.77	14.44	14.66	18.29		14.29	μ
Effect	α_i	-4.52	0.15	0.37	4.00			
Mean	CD	9.71	14.32	13.79	17.51			
	CD-R	9.83	14.56	15.52	19.08			
Interaction	γ_{ij}	0.40 -0.40	0.34 -0.34	-0.41 0.41	-0.33 0.33			
		95.06	203.92	184.69	278.89			
		93.51	206.21	195.72	335.26			
		96.43	212.28	240.56	363.66			
		96.83	211.70	241.18	364.43			
		0.16	0.11	0.17	0.11			
		0.16	0.11	0.17	0.11			
SSY	=	SS0 +	SSA +	SSB +	SSAB +	SSE		
abr		1	(a - 1)	(b - 1)	(a-1)(b-1)	ab(r-1)		

ANOVA Table:

		Sum of Squares	Percent. of Var	Degrees Freedom	Mean Square	F-Comp.	F-Table $F_{[99\%, DF, 8]}$
SSY	Σy_{ijk}^2	3420.33					
SS0	$abr\mu^2$	3266.98					
SST	SSY - SS0	153.35					
SSA	$br \Sigma \alpha_i^2$	146.42	95.48%	3	48.81	282.28	7.59
SSB	$ar \Sigma \beta_i^2$	3.36	2.19%	1	3.36	19.42	11.26
SSAB	$r \Sigma \gamma_{ij}^2$	2.19	1.43%	3	0.73	4.22	7.59
SSE	SST - SSA - SSB - SSAB	1.38	0.90%	8	0.17		

s_e	0.4158
s_μ^2	0.0072
$s_{\alpha_j}^2$	0.0360
$s_{\beta_i}^2$	0.0072
$s_{\gamma_{ij}}^2$	0.0360
$t_{(0.995; ab(r-1))}$	3.355

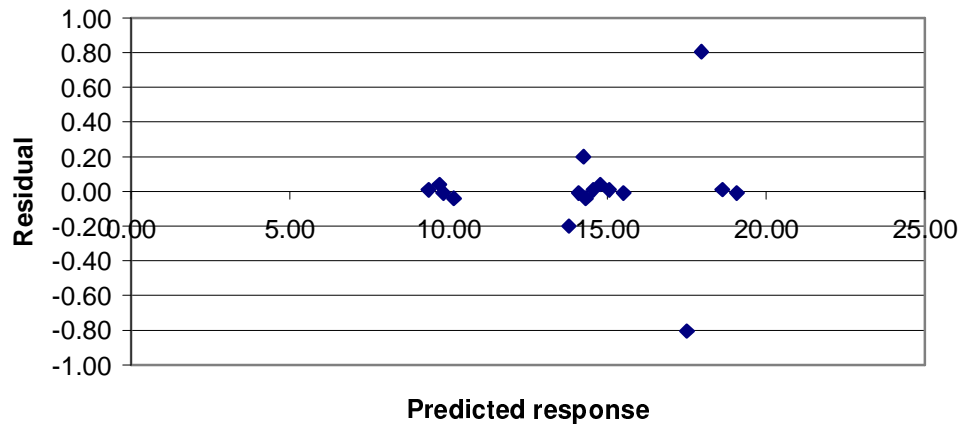
Analyse verschiedener CD-ROM-Laufwerke in Abhängigkeit der CD-ROM

Confidence Intervals for Effects:

<i>Mean</i>	μ	14.29	\pm	0.02	(	14.27	14.29	14.31)	
<i>Toshiba</i>	(16x)	9.77	\pm	0.12	(	9.65	9.77	9.89)	
<i>Toshiba</i>	(32x)	14.44	\pm	0.12	(	14.32	14.44	14.56)	
<i>Sony</i>	(32x)	14.66	\pm	0.12	(	14.53	14.66	14.78)	
<i>Pioneer</i>	(40x)	18.29	\pm	0.12	(	18.17	18.29	18.41)	
<i>CD</i>		13.83	\pm	0.02	(	13.81	13.83	13.86)	
<i>CD-R</i>		14.75	\pm	0.02	(	14.72	14.75	14.77)	
$t^* s_{\mu_j}^2$	0.12										
				<i>CD</i>				<i>CD-R</i>			
<i>Toshiba</i>	(16x)	(9.59	9.71	9.83)	(9.71	9.83	9.95)
<i>Toshiba</i>	(32x)	(14.20	14.32	14.44)	(14.44	14.56	14.68)
<i>Sony</i>	(32x)	(13.67	13.79	13.91)	(15.40	15.52	15.64)
<i>Pioneer</i>	(40x)	(17.38	17.51	17.63)	(18.96	19.08	19.20)

Analyse CD vs CD-R

Residuals vs pred. response



Normal quantile-quantile plot

