

# Betriebssysteme

## I/O - Teil 3: RAID Systeme

Prof. Dr.-Ing. Andreas Heil

 Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International license. Icons by The Noun Project.

v1.0.1

# Lernziele und Kompetenzen

Den Aufbau von RAID-Systemen **kennen lernen** und die Prinzipien bei der Ansteuerung durch das Betriebssystem **verstehen**.

# RAID – Einführung

Festplatten gehören zu den **langsamsten** Komponenten in einem Rechner. Wenn eine Festplatte ausfällt, sind die persistierten Daten verloren. Außer Sie haben ein Backup, aber das ist hier nicht der Punkt, wichtig hier ist jedoch: RAID ist kein Backup!

Zunächst die Frage: Wie kann ein großes, schnelles und zuverlässiges Speichersystem geschaffen werden?

- Von außen betrachtet sieht ein RAID wie *eine* Festplatte aus.
- Intern ist ein RAID jedoch ein höchst komplexes System mit zahlreichen Vorteilen:
  - Performance, Speicherplatz (Kapazität) und Zuverlässigkeit
  - RAID Systeme verkraften außerdem den Ausfall einzelner Festplatten

# Interface

Für das Dateisystem sieht ein RAID System aus wie eine einzelne Festplatte (warum es das nicht ist klären wir später).

- Bei einem Request durch das Betriebssystem, muss das RAID ermitteln auf welche Disk (bzw. abhängig vom RAID Level, auf welche Disks) zugegriffen werden muss.
- Da die Daten auf mehrere Disks verteilt sind, müssen mehrere physikalische I/O-Zugriffe pro logischen I/O-Zugriff stattfinden.

# RAID Charakteristika - Kapazität

Auf Basis welcher Kriterien können RAID-Systeme evaluiert werden?

## Kapazität

- Wie viel effektiver Speicherplatz ist verfügbar, wenn  $N$  Disks mit  $B$  Blöcken verwendet werden?

Ohne Redundanz sind dies  $N \cdot B$

- Wenn zwei Kopien vorgehalten werden (engl. mirroring) wären dies  $(N \cdot B)/2$
- Verschiedene RAID-Level liegen irgendwo dazwischen

# RAID Charakteristika - Zuverlässigkeit

- Zur Vereinfachung gehen wir derzeit von einem einzigen Fehlermodell aus: Eine Disk fällt komplett aus, einem sog. Fail-Stop.
- Des weiteren gehen wir davon aus, dass der RAID-Controller dies auch direkt feststellen kann.
  - Wie viele Disks können ausfallen, so dass das jeweilige RAID-Design immer noch funktionsfähig ist?

Es gibt natürlich noch mehr Fehlerfälle, die wir später betrachten!

# RAID Charakteristika – Performance

- Die Performance ist nicht ganz einfach zu bestimmen:
  - Hängt vom jeweiligen Workload ab
  - Wie hoch ist die Schreibe- oder Lesegeschwindigkeit?
  - Wie wir vorher gelernt haben, hängt dies auch von den eingesetzten Disks ab

# RAID-Level 0 – Basics

- Keine Redundanz
- Mehrere Disks werden genutzt, um die Kapazität zu erhöhen (engl.striping)
- Einfachste Form: Blöcke werden über die Disks verteilt
- Werden Blöcke nun sequentiell gelesen, kann dies parallelisiert werden!

Disk 0	Disk 1	Disk 2	Disk 3
0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	10	11
12	13	14	15

} Blöcke in der gleichen Reihe werden **Stripes** genannt

Blöcke in der gleichen Reihe werden *Stripes* genannt



# RAID-Level 0 – Chunk Size

- Besser: Mehrere Blöcke auf einer Disk
- Hier: Zwei 4-KB Blöcke bevor zur nächsten Disk gesprungen wird

	Disk 0	Disk 1	Disk 2	Disk 3
Junk Size d. RAIDs (hier: 8 KB)	0	2	4	6
	1	3	5	7
	8	10	12	14
	9	11	13	15

Ein Stripe besteht hier somit aus 4 x 8 KB – also 32 KB

- Performance Auswirkung:
  - Kleine Chunk Sizes: Dateien werden über viele Disks verteilt
  - Große Chunk Sizes: Intra-File Parallelität wird reduziert
  - Richtige Größe: schwer zu bestimmen bzw. „it depends“

# RAID-0 Analyse

## Kapazität

- Bei  $N$  Disk mit je  $B$  Blöcken liefert RAID-0 ein perfektes Ergebnis:  $N \cdot B$

## Zuverlässigkeit

- Perfekt, was die Ausfallwahrscheinlichkeit angeht: Bei einem Fehler sind die Daten futsch!

## Performance

- Bei einem Zugriff auf einen einzelnen Block: Vergleichbar mit einzelner Disk
- Bei sequentiellen Zugriffen: Volle Parallelität
- Bei wahlfreien Zugriffen  $N \cdot R$  MB/s mit
$$R = (\textit{Amount of Data}) / (\textit{Time to Access})$$

Für eine detaillierte Berechnung sei hier auf OSTEP Kapitel 38.4 verwiesen

# RAID-1 – Mirroring

- Jeder Block wird im System auf eine andere Disk kopiert (bzw. gespiegelt)

Disk 0	Disk 1	Disk 2	Disk 3
0	0	1	1
2	3	3	3
4	4	5	5
6	6	7	7

- Hier: RAID-10 bzw. RAID 1+0, nutzt gespiegelte Paare von Disk
- Alternativ: RAID-01 bzw. RAID 0+1, besteht aus zwei RAID-0 Arrays, die gespiegelt sind

# RAID-1 Analyse

## Kapazität

- Es wird nur die Hälfte der Kapazität genutzt:  $(N \cdot B)/2$  und somit teuer

## Zuverlässigkeit

- Ausfall einer Diks wird verkraftet, im vorherigen Fall können sogar Konstellationen von Disks ausfallen (z.B. Disk 0 und 2), darauf sollte man aber nicht wetten

# RAID-1 Analyse (Forts.)

## Performance

- Einzelne Leseoperation vergleichbar mit einer einzelnen Disk
- Für einen Schreibzugriff müssen jedoch zwei (parallele) physikalische Schreiboperationen durchgeführt werden, im Worst-Case muss auf den langsamsten Schreibprozess gewartet werden (z.B. aufgrund von Rotation Delay)
- Sequentielle Schreib- und Leseoperationen dauern  $(N/2 \cdot S)$  MB/s mit  $S = (Amount\ of\ Data) / (Time\ to\ Access)$  bzw. die Hälfte des Höchstdurchsatzes
- Wahlfreie Leseoperationen sind mit  $N \cdot R$  MB/s die beste Operation für RAID-1, wogegen wahlfreie Schreiboperationen mit  $N/2 \cdot R$  MB/s weniger geeignet sind, da zwei physikalische Schreiboperationen simultan durchgeführt werden müssen.

Für eine detaillierte Berechnung sei auch hier auf OSTEP Kapitel 38.4 verwiesen

# RAID-4 – Grundlagen

- Nutzung eines sog Paritätsbits
- Benötigt weniger Speicherplatz als gespiegelte, jedoch auf Kosten der Performance

Disk 0	Disk 1	Disk 2	Disk 3	Disk 4
0	1	2	3	P0
4	5	6	7	P1
8	9	10	11	P2
12	13	14	15	P3

- Mittels der XOR-Funktion wird das Paritätsbit berechnet

# Parity-Bit

- Invariante
- Pro Zeile gerade Anzahl von 1en, einschl. des Paritätsbits
- RAID muss dies sicherstellen
- Beim Ausfall einer Zeile C (s.o.) kann diese wiederhergestellt werden
  - Wie? XOR auf die verbleibenden Spalten ausführen
- Aber bei Blöcken?
- Bitweises XOR auf den ganzen Block (z.B. 4 KB)

# Paritäts-Bit Berechnung

- Mittels der XOR-Funktion wird das Paritätsbit berechnet

C0	C1	C2	C3	P
0	0	1	1	$\text{XOR}(0,0,1,1) = 0$
0	1	0	0	$\text{XOR}(0,1,0,0)=1$



# RAID-4 Analyse

## Kapazität

- 1 Disk für Paritäten ergibt eine Gesamtkapazität  $(N-1) \cdot B$

## Zuverlässigkeit

- RAID-1 erlaubt den Ausfall einer Disk

# RAID-4 Analyse (Forts.)

## Performance

- Sequentielle Leseoperationen können alle Disks (ohne die Paritätsdisk) nutzen und liefern so einen Maximaldurchsatz von  $(N-1) \cdot S$  MB/s
- Bei einem sog. Full Stripe Write wird ein gesamter Stripe auf einmal beschrieben und der Paritätsblock kann direkt mit berechnet werden, alle Schreiboperationen können parallel stattfinden (effizienteste Schreiboperation im RAID-4)
- Die effektive Bandbreite bei sequentiellen Schreiboperationen ist dabei  $(N-1) \cdot S$  MB/s
- Wahlfreie Leseoperationen liegen bei  $(N-1) \cdot R$  MB/s

# RAID-4 Analyse (Forts.)

## Performance (Forts.)

- Beim Schreiben eines einzelnen Blocks muss das Paritätsbit des Stripes neu berechnet werden

## Variante 1: Additive Parity

- Alle bestehenden Blöcke (parallel) lesen und mit dem neuen Block XOR
- Neu berechneter Paritätsblock und neuer Block können parallel geschrieben werden

# RAID-4 Analyse (Forts.)

## Variante 2: Subtractive Parity

- Alter Wert wird gelesen, ist dieser mit dem neuen Wert identisch muss das Paritätsbit nicht geändert werden, falls doch, muss das Paritätsbit umgedreht werden
- Bei ganzen Blöcken (z.B. 4 KB) wie in RAID-4 sind dies 4096 mal 8 Bit.
- Der Einsatz des jeweiligen Verfahrens hängt also wieder davon ab („it depends“)

**Auf jeden Fall wird die Paritätsdisk zum Flaschenhals**

# RAID-5: Rotating Parity

- Grundlegend gleich zu RAID-4, jedoch mit den Paritätsblöcken über die versch. Disks verteilt

Disk 0	Disk 1	Disk 2	Disk 3	Disk 4
0	1	2	3	<b>P0</b>
5	6	7	<b>P1</b>	4
10	11	<b>P2</b>	8	9
15	<b>P3</b>	12	13	14
<b>P4</b>	16	17	18	19

Flaschenhals wird somit beseitigt

# RAID-5 Analyse

- Die meisten Werte sind identisch zu RAID-4
- Wahlfreie Leseoperationen sind etwas besser, da alle Disks genutzt werden können
- Wahlfreie Schreiboperationen verbessern sich signifikant, da Requests nun parallel ausgeführt werden können

# Referenzen

OSTEP: Kapitel 38 – Redundant Arrays of Inexpensive Disks