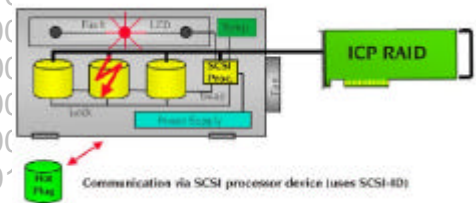
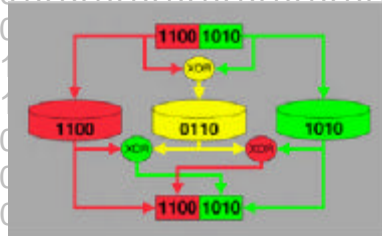


# Redundant Array of Inexpensive Discs



Peter D'Agostino  
Marco Di Menco

Freitag, 07.06.2002

# Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Einleitung.....  | 3  |
| Aufgabenstellung.....  | 4  |
| RAID Levels .....  | 5  |
| 1.1    Übersicht .....   | 5  |
| 1.1.1    RAID-Tabelle.....   | 5  |
| 1.2    RAID 0 „Verkettung“ .....   | 6  |
| 1.2.1    Strategie .....   | 6  |
| 1.2.2    Vorteil .....   | 6  |
| 1.2.3    Nachteil .....  | 6  |
| 1.3    RAID 1 „Spiegelung“ .....   | 7  |
| 1.3.1    Strategie .....   | 7  |
| 1.3.2    Vorteil .....   | 7  |
| 1.3.3    Nachteil .....  | 7  |
| 1.4    RAID10 „RAID 1+0“ .....   | 7  |
| 1.4.1    Strategie .....   | 7  |
| 1.4.2    Vorteil .....   | 8  |
| 1.4.3    Nachteil .....  | 8  |
| 1.5    RAID 2 „Datenstriping mit Blockversatz“ .....                             | 8  |
| 1.5.1    Strategie .....   | 8  |
| 1.5.2    Vorteil .....   | 8  |
| 1.5.3    Nachteil .....  | 8  |
| 1.6    RAID 3 „Bitversatz, Data Striping mit Paritätsprüfung“ .....              | 9  |
| 1.6.1    Strategie .....   | 9  |
| 1.6.2    Vorteile .....  | 9  |
| 1.6.3    Nachteil .....  | 9  |
| 1.7    RAID 4 „Blockversatz, Data Striping mit Paritätsprüfung“ .....            | 10 |
| 1.7.1    Strategie .....   | 10 |
| 1.7.2    Vorteil .....   | 10 |
| 1.7.3    Nachteil .....  | 10 |
| 1.8    RAID 5 „Blockversatz, Data Striping mit verteilter Paritätsprüfung“ ..... | 11 |
| 1.8.1    Strategie .....   | 11 |
| 1.8.2    Vorteil .....   | 11 |
| 1.8.3    Nachteil .....  | 11 |
| 1.8.4    Datenfluss (Parität).....   | 11 |
| 1.9    RAID 6 „Blockversatz, Data Striping mit verteilter Paritätsprüfung“ ..... | 12 |
| 1.9.1    Strategie .....   | 12 |
| 1.9.2    Vorteil .....   | 12 |
| 1.9.3    Nachteil .....  | 12 |
| 1.9.4    Anmerkung .....   | 12 |
| 2    RAID-Systeme .....  | 13 |
| 2.1    Übersicht .....   | 13 |
| 2.2    Sicherheit.....   | 13 |
| 2.3    Hard RAID .....   | 13 |
| 2.3.1    Interne Hard RAID .....   | 13 |
| 2.3.2    Externe Hard RAID.....  | 14 |
| 2.3.3    Hot Swap .....  | 14 |
| 2.4    SoftRAID.....   | 14 |
| Schlusswort .....  | 15 |

## Einleitung

Drei Wissenschaftlern an der Universität von Berkeley ist es vor 13 Jahren gelungen einen redundanten und zugleich leistungsfähigen Datenträger aus einzelnen Festplatten zu machen.

Der Sinn von dieser Idee war durch eine redundante Verkettung mehrerer günstigen Datenträger eine erhöhte Ausfallsicherheit zu erreichen.

Redundanz heisst im Überfluss vorhanden.

Redundanz liegt immer dann vor, wenn ausser der eigentlichen Informationen noch zusätzliche Informationen übertragen werden, die eine Fehlererkennung oder eine Fehlerkorrektur ermöglichen.

Heute werden sehr oft teurere Systeme mit Hochleistungscontroller eingesetzt. Es gibt aber auch günstige Lösungen auf der Ebene von EIDE Systemen.

Die grundlegende Entscheidung bei der Einführung von solchen Systemen ist stets die Definition wie wichtig die Daten sind, die auf Festplattensystemen abgespeichert sind.

In diesem Bericht geben wir ihnen eine Übersicht über die gängigsten RAID Levels, sowie ein Einblick in Hard- und Softwarelösungen.

RAID bietet keinen Schutz vor Datenverlusten durch versehentliches Löschen, Virenbefall, Stromschwankungen/Stromausfall.

Es wird der Anforderung der Datensicherung beim Laufwerksausfall durch Festplattenfehler gerecht.

Bei anwachsenden Datenmengen ist RAID eine wichtige Massnahme zum Schutz der Investition.

## Aufgabenstellung

# RAID Levels

## 1.1 Übersicht

RAID bedeutet korrekt übersetzt „Redundant Array of inexpensive Discs“. In einem RAID System werden wie der Name schon sagt mehrere Datenträger zu einem Verbund zusammen geschlossen.

Heute befinden sich mehrere RAID-Levels auf dem Markt die sich vor allem in Sicherheit, Preis und Leistung unterscheiden. Die bekanntesten sind RAID 0,1,2,3,4,5,6 sowie diverse Speziallösungen wie RAID 9 oder 12. Von diesen Levels sind heute RAID 1, 3, 5 die am meisten verwendeten.



Abbildung 1 RAID'sche Triangel

### 1.1.1 RAID-Tabelle

| Die RAID Level im Überblick               |    |         |             |     |   |     |
|---|----|---------|-------------|-----|---|-----|
| Stufe                                     | 0  | 1       | 10          | 2-4 | 5 | 6   |
| mind. nötige Festplatten                  | 2  | 2       | 4           | 3   | 3 | 4   |
| Datenfestplatten                          | n  | 1       | n           | n   | n | n   |
| Fehlercodeträger                          | 0  | 1       | n           | 1   | 1 | 2   |
| Leseperformance im Normalbetrieb (Faktor) | n  | 1 bis 2 | n           | n   | n | n   |
| Ideale Leseperformance bei Plattenausfall | 0  | 1       | n bis 1,5*n | n   | n | n   |
| Schreibperformance                        | n  | 1       | n           | n   | n | n   |
| Ausfallsicherheit                         | -- | ++      | ++          | +   | + | +++ |
| Leistungs- / Preisverhältnis              | ++ | 0       | 0           | -   | + | --  |

n = Anzahl Festplatten

## 1.2 RAID 0 „Verkettung“

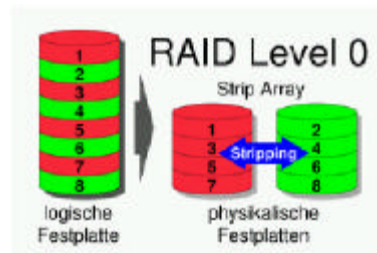


Abbildung 2 RAID Level 0

### 1.2.1 Strategie

Bekannt auch als RAID-Stripe oder einfach Data Striping.

Man benötigt mindestens zwei Festplatten. Die Festplatten werden zu einem grossen logischen Laufwerk zusammengefasst.

Die zu speichernden Daten werden auf mehrere Festplatten in die erstellten Streifen (Strip) verteilt. Der Stripfaktor hat einen wesentlichen Einfluss auf die Schreib- und Leseleistung.

Striping gibt es bei vielen Betriebssystemen als Softwarelösung oder auch eingebaut im Plattencontroller.

### 1.2.2 Vorteil

Durch Einsatz von mehreren Festplatten und Controller wird der Rechner entlastet. Es bietet maximalen Festplattenspeicherplatz und maximale Leistung, aber keine Datensicherheit bei Ausfall.

### 1.2.3 Nachteil

RAID 0 bietet keinerlei Sicherheit bei Ausfall einer oder mehreren Festplatten, dem Einsatz in empfindlichen Bereichen kann nicht zugestimmt werden.

Zu Beachten ist, dass beim zusammenschliessen von Harddisk mit unterschiedlichen rpm (rotation pro Minute) Wert, die schnellere ausgebremst wird.

Sollte jemals ein Laufwerk einen Totalschaden erleiden, sind sämtliche gespeicherte Daten auf dem Array unwiderruflich verloren.

## 1.3 RAID 1 „Spiegelung“

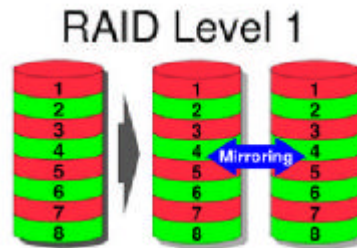


Abbildung 3 RAID Level1

### 1.3.1 Strategie

Dieses System ist einfach zu verstehen und zu implementieren. Jedes Byte wird auf zwei identische Platten geschrieben, dabei entfallen die Prüfdaten. Bei dieser Strategie benötigt man mindestens zwei Festplatten. Es können auch mehrere Platten verwendet werden. Bei der Spiegelung sind alle Daten doppelt vorhanden (Redundanz), so dass im Falle des Versagens einer Festplatte eine aktuelle Kopie vorhanden ist. Die intakte Festplatte arbeitet weiter. Fällt jedoch diese zur gleichen Zeit aus, gehen sämtliche Daten verloren.

Es besteht auch die Möglichkeit eine 3. Platte einzusetzen die dann als ‚Hot-Spare‘ dient und nicht im Gebrauch ist, sondern nur einspringt wenn eine der anderen zwei Ausfallen sollte.

### 1.3.2 Vorteil

Ein interessanter Aspekt ist der parallele Zugriff bei Anwendungen mit vielen gleichzeitigen Lesevorgängen. Ist eine solche Lösung dieser Methode implementiert, verdoppelt sich die Transferleistung.

Durch erweiternde Hardware wie getrennte Bussysteme, mehrere Controller wird die Sicherheit beim Ausfall verbessert. Solch eine Lösung benötigt für ihre Funktionalität eine spezielle Software. Ein Leistungsverlust ist die Folge davon.

Auf eine höhere Leistung wird auf Grund der Datensicherheit verzichtet. RAID 1 ist unter den redundanten Level das schnellste. Durch die einfache Lösung der Datensicherheit kann es durchwegs im Desktop-Bereich seinen Einsatz finden.

### 1.3.3 Nachteil

Durch Einsatz der Datenspiegelung wird doppelt soviel Plattenplatz benötigt wie tatsächlich verwendet werden kann. Dadurch sind die Kosten relativ hoch.

## 1.4 RAID10 „RAID 1+0“

### 1.4.1 Strategie

Dies ist eine Kombination von Plattenspiegelung und oder Plattenduplizierung. Da moderne Mainboards gewisse RAID Funktionalität aufweisen, normalerweise Level 0 und 1, vermarkteten „schlaue“ Werbestrategen den Begriff RAID 10 das natürlich viel besser sein sollte als die tieferen RAID Levels. Beim Verkauf wird die Leistungsfähigkeit des Systems hervorgehoben. Für Erfahrene RAID Kenner ist es leicht zu merken, dass hier ein Marketingschwindel vorliegt.

Tatsächlich gibt es nur wenige RAID 10 Lösungen.

### 1.4.2 Vorteil

Eine davon ist die Verteilung der gespiegelten Daten auf mehreren Festplatten.

### 1.4.3 Nachteil

Bei zunehmender Anzahl von Festplatten nimmt jedoch die Leistungsfähigkeit des Systems rapide ab – entspricht jedoch nicht dem oben genannten Verkaufsargument.

## 1.5 RAID 2 „Datenstriping mit Blockversatz“

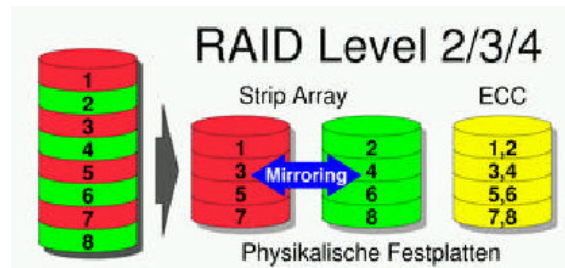


Abbildung 4 RAID Level 2

### 1.5.1 Strategie

Dieser Level hat als einziger im Praktischen Bereich keinen Einsatz gefunden. Man verwendet den selben Algorithmus, ECC ( Abk. für Error - Correcting Code, dt. fehlerkorrigierender Code), den man auch bei fehlerkorrigierenden Hauptspeichern verwendet. Für die ECC Daten sind weitere Festplatten nötig.

Die in den Literaturbeispielen meist genannten Größen sind 10 Datenlaufwerke und 4 ECC-Laufwerke.

Vorteil dieser Lösung ist, dass auch bei gleichzeitigem Ausfall von zwei Laufwerken die Daten nicht verloren sind.

Die Daten werden bitweise auf die Laufwerke des Stripe-Sets aufgeteilt. Zusätzlich werden die ECC-bits auf ECC-Laufwerke geschrieben.

### 1.5.2 Vorteil

Wird vom Array gelesen so werden auch die ECC Daten eingelesen um die Korrektheit jedes einzelnen Bits zu prüfen. Ein fehlerhaftes Bit konnte korrigiert werden. Trotz diesem Vorteil wurde RAID 2 nicht für die Masse umgesetzt.

### 1.5.3 Nachteil

Um die neue ECC-Informationen berechnen zu können musste vor jedem Schreiben erst ein lesen der beteiligten Blöcke aller Laufwerke durchgeführt werden. RAID 2 wird deswegen normalerweise als absoluter Overkill angesehen.



## 1.6 RAID 3 „Bitversatz, Data Striping mit Paritätsprüfung“

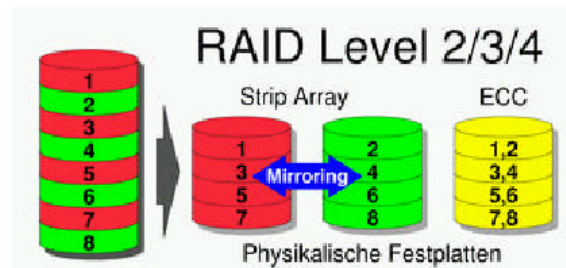


Abbildung 5 RAID Level 3

### 1.6.1 Strategie

RAID 3 Systeme sind auch heute noch Standard.

Die Parity Festplatte enthält ausschliesslich die XOR Prüfsumme der Daten die auf mehreren Festplatten verteilt sind, um die Kontrolle der unversehrten Daten zu gewährleisten. Da die Paritätsinformation auf einem zusätzlichen Laufwerk enthalten ist, kann jedes einzelne Laufwerk im Array ausfallen, ohne dass dabei Daten verloren gehen.

Die Daten können unter Verwendung der verbleibenden Information und der Paritätsinformation auf einem Ersatzlaufwerk neu aufgebaut werden. Die Schreib- und Lesevorgänge können nicht gleichzeitig erfolgen, aber da aufeinanderfolgende Lesevorgänge auf einem einzelnen Laufwerk zur gleichen Zeit erfolgen können, verbessert sich die Leseleistung.

### 1.6.2 Vorteile

Vorteile gegenüber RAID 2 ist die sehr hohe Übertragungsrate und die Zuverlässigkeit.

### 1.6.3 Nachteil

Der Nachteil ist die relativ geringe Geschwindigkeit beim Schreiben. Bei gleichzeitigen Ausfall zweier beliebiger Laufwerke treten grosse Probleme auf.

## 1.7 RAID 4 „Blockversatz, Data Striping mit Paritätsprüfung“

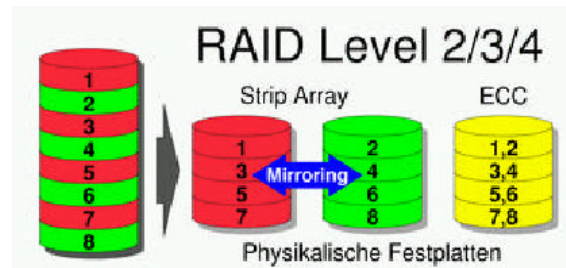


Abbildung 6 RAID Level 4

### 1.7.1 Strategie

RAID 4 arbeitet wie Level 3 mit Data Striping und Paritäts-Bits, legt aber die Nutzdaten Blockweise ab. Ein sehr breites sektormässiges Striping. Diese Strategie ist effizienter als bitweise Striping.

### 1.7.2 Vorteil

Es liegt genauer betrachtet eine Kombination aus RAID 0 plus einem Redundanz-Laufwerk vor.

Auf dem Parity - Laufwerk werden nur die XOR –Verknüpfungen abgelegt.

### 1.7.3 Nachteil

Die Nachteile sind dieselben wie bei Level 3.

Da es keine eigentliche Vorteile gegenüber RAID 3 gibt und die Schreibleistung schlechter als in RAID 5 ist, wird diese Konfiguration nicht verwendet.

## 1.8 RAID 5 „Blockversatz, Data Stripping mit verteilter Paritätsprüfung“

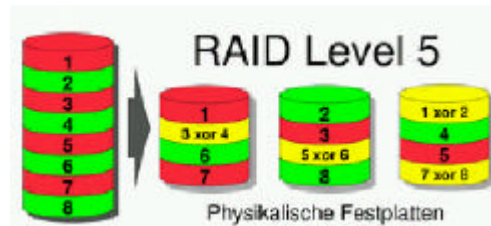


Abbildung 7 RAID 5 ist derzeit State of the Art in der Industrie

### 1.8.1 Strategie

Nimmt man das RAID 4 und verteilt jetzt die Daten und die Parität gleichmässig auf alle Datenträger, so erreicht man die nächste Stufe: RAID 5.

RAID 5 bietet wie die bei den vorherigen Levels 3 und 4 nur eine bedingte Redundanz, nur der Ausfall eines Datenträgers kann verkraftet werden. Wie bei den Levels 2-4 werden mindestens 3 Datenträger benötigt.

### 1.8.2 Vorteil

Dieses System ist die beliebteste Hard-RAID-Variante, und das aus gutem Grund, die Lesevorgänge sind sehr schnell, da im Idealfall gleichzeitig mehrere Datenpakete gelesen werden können und zwar pro Harddisk ein Datenpaket. Auch das gleichzeitige lesen und schreiben ist möglich, so erreicht man, bei kleinen Datenblöcken, trotz Berechnung von Fehlerkorrekturdaten praktisch die Geschwindigkeit von einer einzelnen Harddisk.

### 1.8.3 Nachteil

Bei grossen Datenmengen ist RAID 5 langsamer als RAID 3. Auch bei dieser Lösung sollte eine Hardware-Lösung (Controller) angestrebt werden, da Softwarelösungen zu langsam und die Stabilität zwangsläufig geringer ist.

### 1.8.4 Datenfluss (Parität)

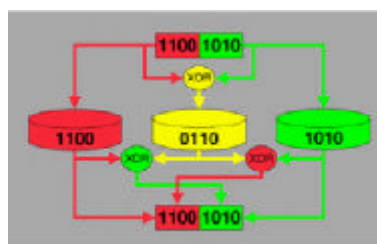


Abbildung 8 Datenfluss bei RAID 5 im Normalbetrieb und bei Rekonstruktion

Durch XOR Verknüpfung zweier verschiedenen Datenblöcken wird der Paritätsblock erstellt. Jeder dieser Datenblöcke befindet sich auf einer anderen Disk. Fällt also eine Disk aus, so kann mit XOR das fehlende Paket aus den anderen zwei widerhergestellt werden.

## **1.9 RAID 6 „Blockversatz, Data Striping mit verteilter Paritätsprüfung“**

### **1.9.1 Strategie**

Dieselbe wie bei RAID 5 mit Einsatz eines zusätzlichen Reservelaufwerkes.

### **1.9.2 Vorteil**

Auch hier können gleichzeitig Lese- und Schreibvorgänge ausgeführt werden. Durch den nichtgenutzten Reservedatenträger lässt dieses System einen Ausfall von 2 Datenträgern zu.

Bei einem Ausfall einer Harddisk werden die Daten auf den Reservedatenträger rekonstruiert, damit besteht wieder die volle Leistungsfähigkeit.

### **1.9.3 Nachteil**

Mehr Hardware notwendig da ein Datenträger leer mitläuft.

Auch bei RAID 6 Systemen sollte eine Hardwarelösung (Controller) angestrebt werden.

### **1.9.4 Anmerkung**

RAID 6 findet man auch unter dem Namen RAID 9 oder HotSpare.

RAID 6 Lösungen sind die Könige der RAID-Levels. Sie werden immer mehr eingesetzt und sind mittlerweile auch bezahlbar geworden.

## 2 RAID-Systeme

### 2.1 Übersicht

Ein RAID System kann man mit verschiedener Hardware auf bauen. Es beginnt vom günstigen aber nicht so Leistungsfähigen SoftRAID bis zu grösseren MultiHost SCSI Systemen.

### 2.2 Sicherheit

Was stets zu beachten ist das ein RAID- System nur gegen Ausfall von Datenträgern schützt. Datenverluste durch Viren und Fehlmanipulationen des Benutzer usw. sind noch zusätzlich durch andere Backupsysteme zu schützen.

Da RAID-System oft Controller mit Cache-Speicher verwenden, sollte es dementsprechend durch eine Unterbrechungsfreie Stromversorgung geschützt sein.

### 2.3 Hard RAID

Unter Hard RAID versteht man Systeme die mit einem Hardware RAID-Controller betrieben werden. Solche Systeme finden im professionellen Einsatz Anwendung da sie eine sehr hohe Stabilität und niedrige Ausfallrate aufweisen. Hierbei übernimmt der RAID-Controller die gesamte Rechenarbeit. Somit arbeitet der Controller unabhängig von der CPU-Auslastung, mit konstanter Performance.

#### 2.3.1 Interne Hard RAID

Die internen RAID-Controller werden meistens bei günstigeren Systemen mit wenig Datenträgern eingesetzt.

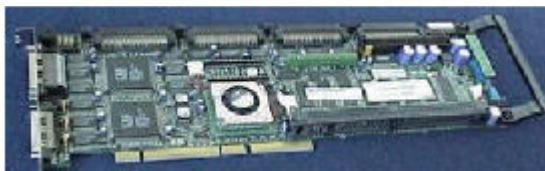


Abbildung 9 RAID Controller

Beim „Big Bussinnes“ kommen üblicherweise SCSI-Controller Controller zum Einsatz. Diese Geräte sind nicht gerade billig, da sie neben den Bus-Controllern (PCI / SCSI) eine komplette Prozessoreinheit und etliche Megabyte an Cache-Zwischenspeicher

mit sich führen. Ein solcher SCSI-Controller verwendet meistens 2 bis 4 Kanäle an denen man je 7 Datenträger anschliessen kann.

Neben diesen sind bereits einige IDE-Controller auf dem Markt. Der Preisunterschied eines IDE-Controllers und SCSI-Controllers ist nicht sehr gewaltig, aber bei IDE können die günstigen und meist verbreiteten IDE-Festplatten eingesetzt werden.

Inzwischen sind auch Onboard-IDE-RAID auf Mainboards erhältlich die meisten unterstützen aber nur RAID 0 und 1 solche Lösungen sind aber nur für den Heimgebrauch vorstellbar.



Abbildung 10 Adaptec IDE-RAID-Controller

### 2.3.2 Externe Hard RAID

In grösseren Firmen finden sogenannte externe Hard RAID ihren Einsatz.

Bei dieser High-End-Lösung sind die Datenträger und der Controller in einem separaten Gehäuse untergebracht. Das System wird mittels SCSI- oder FC-Kabel mit dem Hostadapter des Servers verbunden.

In diesen Systemen werden meistens redundante Controller eingesetzt. Hierbei wird bei Defekt eines Controllers sofort auf einen zweiten umgeschaltet. Der defekter Controller kann dann im laufendem System ausgewechselt werden.

Ein weiterer Vorteil eines solchen Systems ist, dass es Plattform unabhängig eingesetzt werden kann.



Abbildung 11 Externes Hard RAID

### 2.3.3 Hot Swap

Bei der Hot Swap Technologie können die Datenträger aus dem laufendem System entfernt und wieder eingesetzt werden. Der Vorteil diese Technologie ist, dass der defekte Datenträger bei laufendem System ausgewechselt werden kann und damit kein Betriebsunterbruch entsteht.

## 2.4 SoftRAID

Unter SoftRAID versteht man Systeme bei denen , die Redundanz durch eine Software gewährleistet ist.

Windows NT, 2000 und XP bieten bereits standardmässig die Möglichkeit, mehrere Datenträger zu einem RAID-System zusammenzufassen.

Hierzu brauchen lediglich die Datenträger an einen SCSI-Hostadapter angeschlossen zu werden.

Diese Lösung ist zwar preisgünstig und einfach einzurichten, hat jedoch auch Nachteile.

Vor allem wenn sehr grosse Datenmengen übertragen werden oder wenn Zugriffe von mehreren Usern auf das RAID erfolgen, hat dies Auswirkung auf die Performance des Rechners.

Hierbei muss der gesamte Rechenaufwand zur Verteilung der Daten und Berechnung der Parität von der CPU des Rechners aufgebracht werden

Des weiteren wird das Betriebssystem des Rechners über eine Bootplatte geladen, die nicht Redundant sein kann, da die RAID-Konfiguration erst nach dem Laden des Betriebssystems zur Verfügung steht. Fällt diese Bootplatte aus, ist das ganze System nicht mehr operabel.

## Schlusswort

RAID-Systeme dienen der verbesserten Verfügbarkeit von Daten, und nicht der Performanceverbesserung. Sie sind in der Regel bei der Geschwindigkeit den Einzellaufwerken unterlegen. Sinnvoll ist der Einsatz von RAID Level 0 bis 5 zum Speichern von grossen Datenmengen, auf die entweder seltener oder nur mit langen Transfers zugegriffen wird.

RAID bietet hier eine kostengünstige Möglichkeit, ausfallsichere Massenspeicher zu konfigurieren. Für häufig benutzte Daten empfiehlt sich weiterhin der Einsatz von (gespiegelten) Einzellaufwerken(RAID 1).

Für extrem häufig verwendete Daten hingegen ist der Einsatz von RAM-Disks die, mit normalen Harddisks gespiegelt werden können von Vorteil. Vorausgesetzt die Anzahl der Schreibzugriffe ist nicht zu hoch.

Ein RAID sollte man wenn möglich immer über ein Controller betreiben, da dieser die CPU Auslastung nicht beeinflusst.

Auf jeden Fall sollte ein RAID (und der Rechner) an eine USV-Anlage angeschlossen werden, da sonst im Fall eines Stromausfalls der eigentliche Sinn, die absolute Datenverfügbarkeit, nicht mehr erfüllt ist.