



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Fakultät Informatik Institut für Systemarchitektur, Professur für Betriebssysteme

BETRIEBSSYSTEME UND SICHERHEIT

Systemsicherheit

<https://tud.de/inf/os/studium/vorlesungen/bs>

HORST SCHIRMEIER

Inhalt

- Überblick über Sicherheitsprobleme
- Rechteverwaltung
 - Schutzmatrix
 - *Access Control Lists*
 - *Capabilities*
 - *Mandatory Access Control*
- Systemsoftware und Sicherheit
 - Hardwarebasierter Schutz
 - Softwarebasierter Schutz
- Zusammenfassung

Silberschatz, Kap. ...
14: *Protection*
15: *Security*

Tanenbaum, Kap. ...
9: IT-Sicherheit

Inhalt

- **Überblick über Sicherheitsprobleme**
- Rechteverwaltung
 - Schutzmatrix
 - *Access Control Lists*
 - *Capabilities*
 - *Mandatory Access Control*
- Systemsoftware und Sicherheit
 - Hardwarebasierter Schutz
 - Softwarebasierter Schutz
- Zusammenfassung

Sicherheitsprobleme

- **Begriffsdefinition „Sicherheit“**
 - **Safety**
 - Schutz vor Risiken durch (Software-)Fehler, Störungen oder Ausfällen
 - **Security**
 - Schutz von Menschen und Rechnern vor intendierten Fehlern (Angriffen)
- Beide Themenbereiche sind für Systemsoftware relevant
 - Im Folgenden geht es um Sicherheit im Sinne von *Security*.
- Ausnutzung von Sicherheitslücken
 - Schadsoftware („*Malware*“)
 - *Social Engineering*

Sicherheit in Betriebssystemen

Jemanden ...

- Unterscheidung von **Personen** und **Gruppen von Personen**

davon abhalten ...

- durch technische und organisatorische Maßnahmen

einige ...

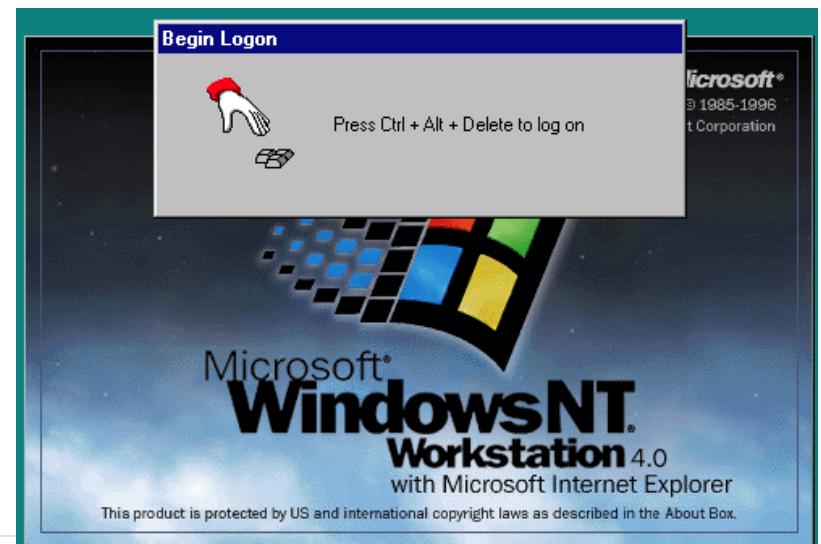
- Begrenzung durch unser Vorstellungsvermögen

unerwünschte Dinge zu tun.

- 1) nicht autorisiert Daten lesen (**Geheimhaltung, Vertraulichkeit**),
- 2) nicht autorisiert Daten schreiben (**Integrität**),
- 3) unter „falscher Flagge“ arbeiten (**Authentizität**),
- 4) nicht autorisiert Ressourcen verbrauchen (**Verfügbarkeit**),
- usw.
- Unterscheidung zwischen Angriffen von
 - innen
 - außen

Beispiel: Login-Attrappe

- **Angreifer:** startet Programm, das einen Login-Screen *simuliert*
- **Benutzer:** tippt ahnungslos Benutzername/Passwort ein
 - Angreiferprogramm speichert diese ab und löst einen *Logout* aus
- ➔ Login-Sitzung des Angreifers wird beendet und regulärer Login-Screen wird angezeigt
- Abhilfe: Login-Sequenz durch Tastensequenz starten, die von Benutzerprogramm nicht abgefangen werden kann
 - z.B. CTRL-ALT-DEL bei Windows NT und folgende.



Beispiel: Virus

- Programm, dessen Code an ein anderes Programm angefügt ist und sich auf diese Weise **reproduziert**
 - Virus schläft, bis infiziertes Programm ausgeführt wird
 - Start des infizierten Programms führt zur Virusreproduktion
 - Ausführung der Virusfunktion ist u.U. zeitgesteuert
- Virusarten
 - **Bootsektor-Virus**: beim Systemstart
 - **Makro-Virus**: in skriptbaren Programmen wie Word, Excel
 - Durch Dokumente verbreitet!
 - Ausführbares Programm als Virus
- Verbreitung durch
 - Austausch von Datenträgern
 - Mail-Attachments
 - Webseiten

Arten von „Schädlingen“ (1)

- **Viren**
 - Durch Anwender unabsichtlich verbreitete Programme
 - schleusen sich in andere Programme ein
 - reproduzieren sich damit
- **Würmer**
 - warten nicht, von Anwender auf neues System verbreitet zu werden
 - versuchen, aktiv in neue Systeme einzudringen
 - Ausnutzung von Sicherheitslücken auf Zielsystemen
- **Trojanische Pferde** („Trojaner“)
 - Programm, das als nützliche Anwendung getarnt ist
 - Zudem wird ohne Wissen des Anwenders andere Funktion erfüllt, z.B. Netzwerkzugang für den Angreifer

Arten von „Schädlingen“ (2)

- **Rootkit**
 - Sammlung von Softwarewerkzeugen, um ...
 - zukünftige Logins des Eindringlings verbergen
 - Prozesse und Dateien zu verstecken
 - wird nach Einbruch in ein Computersystem auf dem kompromittierten System installiert
 - Versteckt sich selbst und seine Aktivitäten vor dem Benutzer
 - z.B. durch Manipulation der Werkzeuge zum Anzeigen von Prozessen (ps), Verzeichnisinhalten (ls), Netzwerkverbindungen (netstat) ...
 - ... oder durch Manipulation von systemweiten *shared libraries* (libc)
 - ... oder direkt durch Manipulation des Systemkerns
- Oft treten Schädlinge als **Kombination** der vorgestellten Kategorien auf.

Inhalt

- Überblick über Sicherheitsprobleme
- **Rechteverwaltung**
 - Schutzmatrix
 - *Access Control Lists*
 - *Capabilities*
 - *Mandatory Access Control*
- Systemsoftware und Sicherheit
 - Hardwarebasierter Schutz
 - Softwarebasierter Schutz
- Zusammenfassung

Ziele

- **Schutz** gespeicherter Information vor
 - Verletzung der Vertraulichkeit
 - Diebstahl
 - unerwünschter Manipulation
(einschl. Verschlüsselung, **Ransomware**)
- in allen Mehrbenutzersystemen
 - ... und jedes am Internet angeschlossene System ist *de facto* ein Mehrbenutzersystem!

Anforderungen

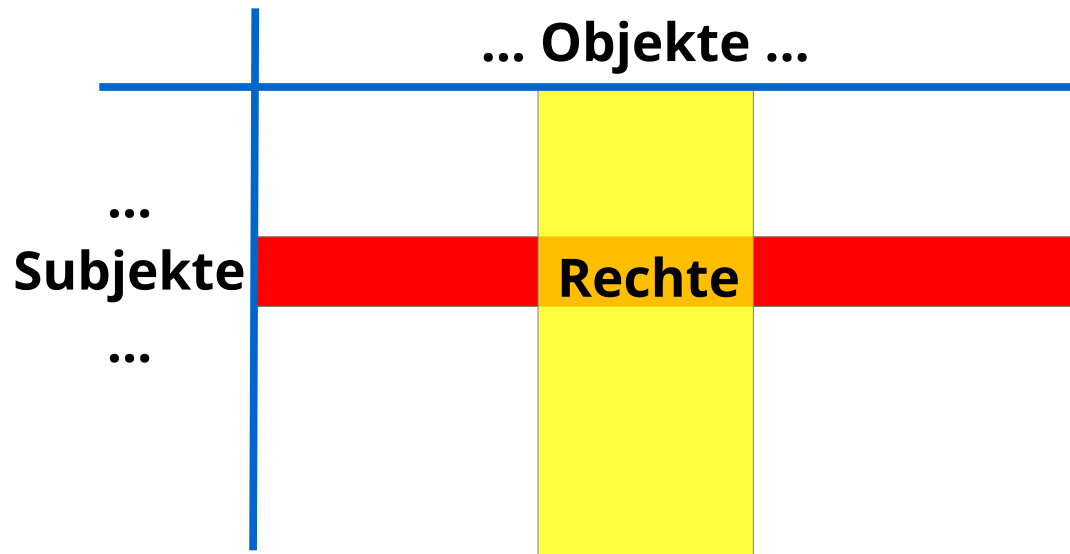
- alle **Objekte** eines Systems müssen eindeutig und fälschungssicher identifiziert werden
- (externer) **Benutzer** eines Systems muss eindeutig und fälschungssicher identifiziert werden
 - ➔ Authentifizierung
- Zugriff auf Objekte nur, wenn Benutzer nötige **Rechte** hat
- Zugriff auf Objekte sollte nur über zugehörige **Objektverwaltung** geschehen
 - Rechte müssen **fälschungssicher** gespeichert werden; Weitergabe von Rechten darf nur **kontrolliert** erfolgen
 - grundlegenden Schutzmechanismen sollen **ohne großen Aufwand** überprüft werden können.

Entwurfsprinzipien

- **Prinzip der geringst-möglichen Privilegisierung** (*„principle of least privilege“*)
 - Person oder Software-Komponenten nur die Rechte einräumen, die für die zu erbringende Funktionalität erforderlich sind
 - **Verbot als Normalfall**
 - Gegenbeispiel: Unix „root“
- **Sichere Standardeinstellungen** (*„fail-safe defaults“*)
 - Beispiel: neu installierte Server-Software
- **Separierung von Privilegien** (*„separation of duties“*)
 - mehrfache Bedingungen für die Zulassung einer Operation

Zugriffsmatrix

- Begriffe:
 - **Subjekte** (Benutzer, Personen, Prozesse)
 - **Objekte** (Daten, Geräte, Prozesse, Speicher ...)
 - **Operationen** (Lesen, Schreiben, Löschen, Ausführen ...)
- Frage: Ist Operation(Subjekt, Objekt) zulässig?



Basismodell: Datei-/Prozessattribute

- Festlegungen in Bezug auf Benutzer:
 - Für welchen Benutzer arbeitet ein Prozess?
 - Welchem Benutzer gehört eine Datei (*owner*)?
 - Welche Rechte räumt ein Benutzer anderen und sich selbst an „seiner“ Datei ein?
- Rechte eines Prozesses an einer Datei
 - Attribute von Prozessen: *User ID*
 - Attribute von Dateien: *Owner ID*

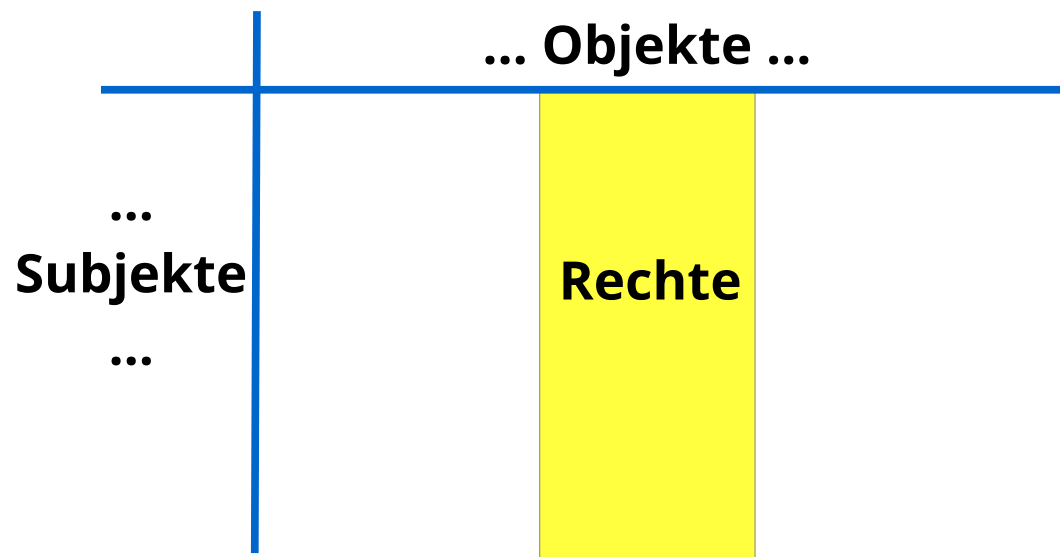
	Datei 1	Datei 2	Datei 3
User 1			
User 2		Read	
User 3			
User 4			

(Implementierungs-)Varianten der Schutzmatrix

- spaltenweise: **ACL – Access Control List** (Zugriffssteuerliste)
 - bei jedem Zugriff wird beim Objekt auf der Basis der Identität des Absenders dessen Berechtigung geprüft
- zeilenweise: **Capabilities** (Zugriffsberechtigungen)
 - bei jedem Zugriff wird etwas geprüft, was Subjekte **besitzen** und bei Bedarf **weitergeben** können
- regelbasiert: **MAC – „mandatory access control“**
 - bei jedem Zugriff werden Regeln ausgewertet

ACLs

- Spaltenweise Darstellung: **Access Control Lists**
 - pro Objekt eine **Liste von Subjekten mit zugehörigen Rechten**
- Analogie: Gästeliste (mit Zusatzinfos: darf Backstage, darf kostenlos an Getränke, ...)



Access Control Lists

- Setzen der ACLs darf
 - wer einen ACL-Eintrag für dieses Recht hat
 - Erzeuger der Datei
- Beispiel: Multics – Liste von Tripeln (Nutzer, Gruppe, Rechte)

File 0 (jan, *, RWX)

File 1 (jan, system, RWX)

File 2 (jan, *, RW-), (els, staff, R--), (maaike, *, RW-)

File 3 (*, student, R--)

File 4 (jelle, *, ---), (*, student, R--)

- Beispiel: Windows (ab NT)
 - Objekt: Vergabe von Rechten (*allow*) und ggf. Ausnahmen (*deny*)
 - Rechte z.B. *full control, modify, read, execute, ...*

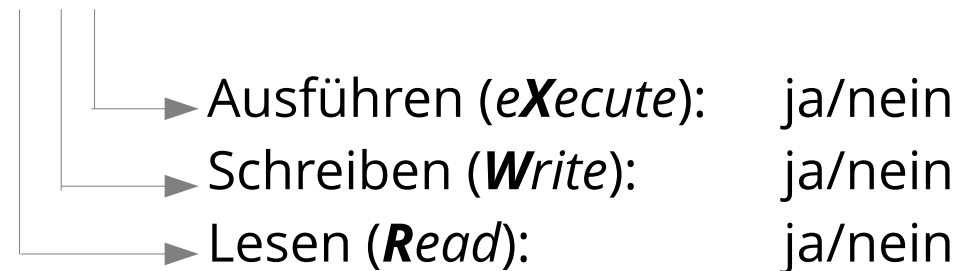
Unix-Zugriffsrechte

- **Beispiel Unix:** rudimentäre Zugriffssteuerlisten
 - Prozess: *User ID*, (eine oder mehrere) *Group IDs*
 - Datei: *Owner*, *Group*
 - Rechte in Bezug auf *User* (*Owner*), *Group*, *Others*

Datei.tex		
rw-	r - -	- - -
		Others
	Group: staff	
User: me		

Dateiattribute:

rwX



- Neuere Unix-Systeme implementieren auch ACLs
 - siehe **get/setfacl**(1)
 - Problem: Dateisystem-Integration, Kompatibilität mit Anwendungen

Problem: Rechte-Erweiterung

- **Beispiel:** Tetris-*Highscore*-Liste
 - gespeichert in: /home/me/spiele/tetris/Highscores
 - Programm: /home/me/bin/spiele/tetris
 - Anforderung: Jeder soll spielen und sich auch in der *Highscore*-Liste verewigen können.
- Lösung 1: alle haben Schreibrecht
 - ➔ zu viele Rechte (funktioniert nicht)
 - Jeder Benutzer könnte *Highscores* beliebig manipulieren, z.B. Texteditor.
- Lösung 2: *setuid*
 - nur Nutzer „me“ hat Schreibrecht auf *Highscore*-Datei
 - Tetris-Programm mit gesetztem *setuid*-Bit
 - sobald ein Prozess Tetris aufruft, erhält dieser als *User-ID* den *Owner* des ausführbaren Programms

Unix: Benutzer und Prozesse

- Jeder Prozess repräsentiert einen Benutzer
- Prozess-Attribute:
 - User ID (**uid**), ≥ 1 Group ID (**gid**)
 - Effective-uid (**euid**), Effective-gid (**egid**)
 - Bestimmen beim Zugriff auf Dateien die Rechte eines Prozesses
- Nur wenige hoch-privilegierte Prozesse dürfen uid und gid manipulieren
 - z.B. login-Prozess
 - Nach Überprüfung des Passworts setzt Login-Prozess uid, gid, euid, egid.
 - Alle anderen Prozesse: Kinder des Login-Prozess.
- Kind-Prozesse erben Attribute von Eltern

Prozess

uid: fritz
gid: studis
euid: fritz
egid: studis

Unix-Lösung: setuid-Mechanismus

- Datei, die vertrauenswürdigen Programmcode (z.B. Tetris) enthält, besitzt Kennzeichnung als *setuid* (**s**-Bit)
 - im Verzeichnislisting „s“ statt „x“ für Executable (z.B. /usr/bin/passwd)
 - Es gibt auch (seltener verwendet) ein *setgid*-Bit.
- **exec** auf *setuid*-Programme
 - ausführender Prozess erhält als effektive UID die UID des Owners des Programms (genauer: der Datei, die das Programm enthält)
 - Prozessausführung erfolgt unter den Rechten dieses Benutzers, solange der Prozess läuft
 - **Problem:** Widerspricht dem Prinzip der geringsten Privilegierung
 - *Workaround:* Speziellen Nutzer für die Applikation einrichten; nicht 'root' verwenden

Beispiel: Highscore-Liste

Shell

uid: fritz

gid: studis

euid: fritz

egid: studis

tetris

r - s **- - x** **- - -**

Others

Group: tetris

User: me

Highscores

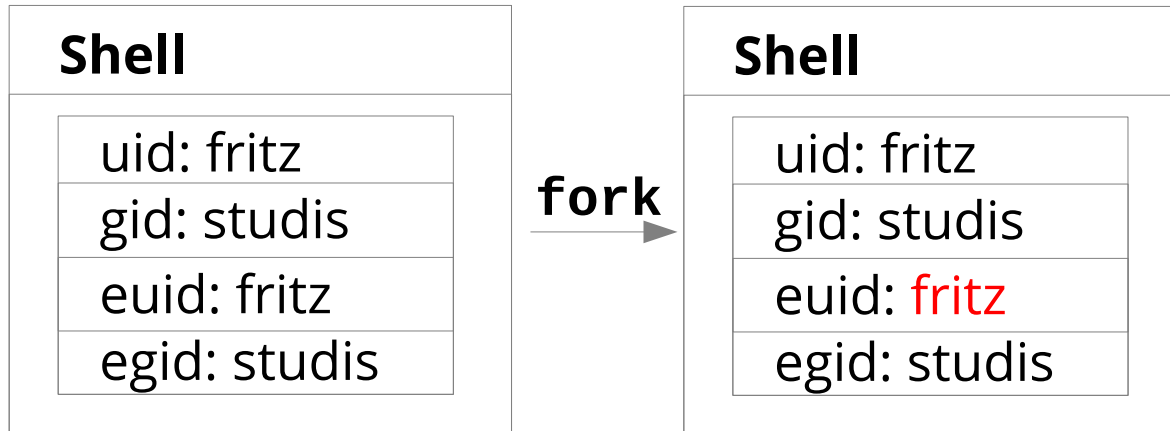
rw - **r - -** **- - -**

Others

Group: tetris

User: me

Beispiel: Highscore-Liste



(Annahme: fritz ist zusätzlich in der Gruppe tetris)

tetris		
r - s	- - x	- - -
		Others
		Group: tetris
User: me		

Highscores		
rw -	r - -	- - -
		Others
		Group: tetris
User: me		

Beispiel: Highscore-Liste



(Annahme: fritz ist zusätzlich in der Gruppe tetris)

tetris		
r- s	--x	---
		Others
		Group: tetris
User: me		

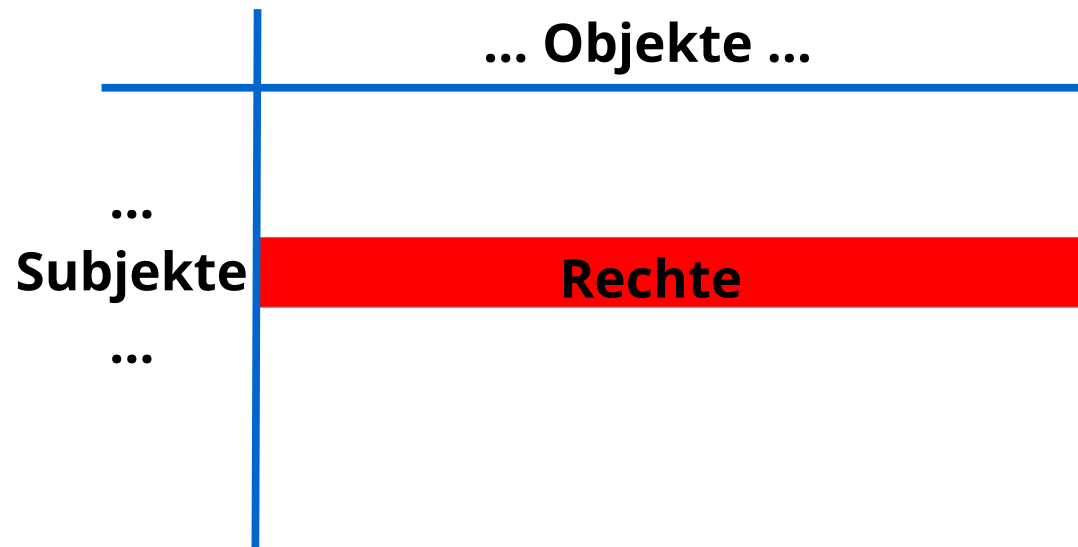
Highscores		
r w -	r--	---
		Others
		Group: tetris
User: me		

setuid-Probleme

- Erweiterung der Rechte eines Benutzers genau für den Fall der Benutzung dieses Programms
- „Besitzer“ des Programms vertraut dem Benutzer, wenn er dieses Programm nutzt
 - Besitzer kann Administrator, aber auch normaler Benutzer sein
- Problem: **Programmfehler**
 - können zu sehr großen Rechteerweiterungen führen
 - z.B. Shell-Aufruf aus einem solchen Programm heraus
- Praktische Erfahrung: immer noch zu viele Rechte!

Capabilities

- Zeilenweise Darstellung der Schutzmatrix: *Capability*
 - pro Subjekt (bei Bedarf) **Liste von Objekten mit zugehörigen Rechten**
- Analogie: (nicht personalisierte) Eintrittskarte



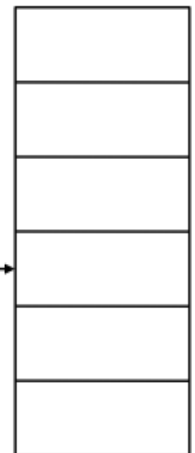
Beispiel

- Rudimentäre Form: Unix-Dateideskriptoren
- Weitergabe durch **fork**-Systemaufruf (oder Sockets)
 - Ermöglicht Zugriff auf Dateien ohne erneute Prüfung der UNIX-Zugriffsrechte
 - z.B. Foto-Viewer und separater „Powerbox“-Prozess
- kurzfristige Rechtevergabe also quasi mit *Capabilities*
- langfristig wie gehabt über ACLs

Prozessleitblock



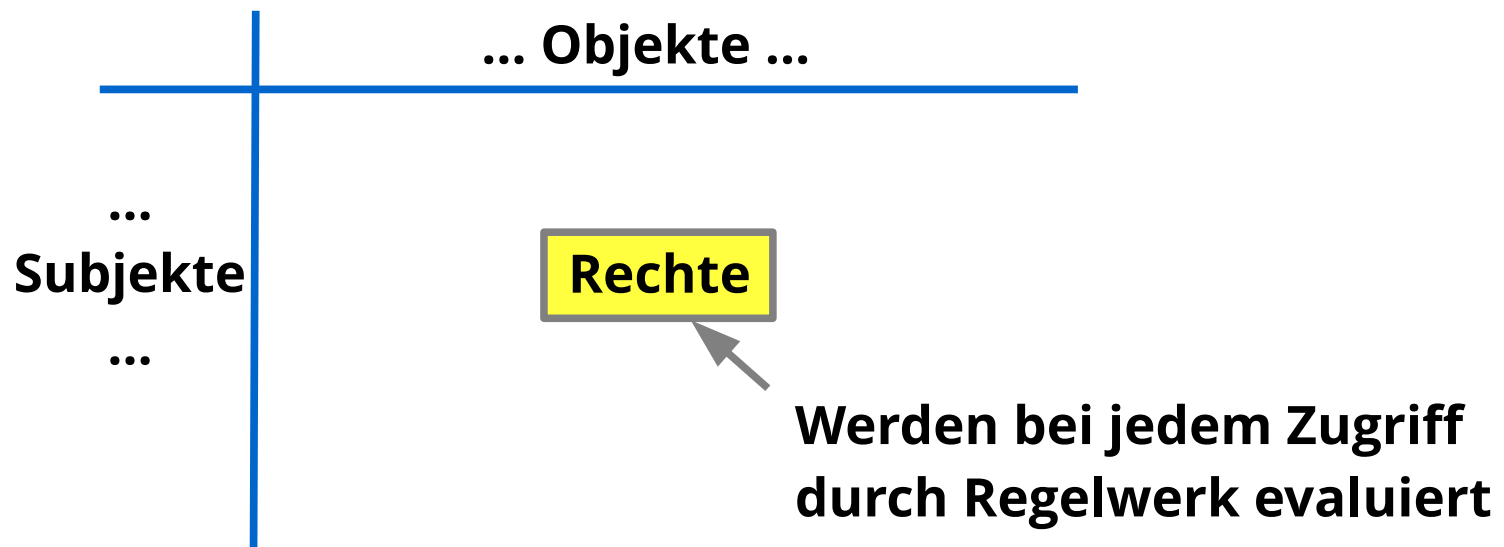
Tabelle offener Dateien



- Betriebssysteme mit vollwertigen *Capability*-Systemen: z.B. KeyKOS, L4-Mikrokern, Genode

Schutzmatrix regelbasiert

- **MAC: Mandatory Access Control** (regelbasierte Zugriffssteuerung)
- Konzept:
 - Subjekte und Objekte haben Attribute („labels“)
 - Entscheidung über Zugriff anhand von Regeln
- Implementierung in sog. Sicherheitskernen, z.B. SELinux



Zusammenfassung Rechteverwaltung

- existierende Umsetzungen der Zugriffsmatrix
 - spaltenweise: ACLs
 - zeilenweise: *Capabilities*
 - regelbasiert: *Mandatory Access Control*
- in gängigen Betriebssystemen Bestandteile **aller drei Varianten**

Inhalt

- Überblick über Sicherheitsprobleme
- Rechteverwaltung
 - Schutzmatrix
 - *Access Control Lists*
 - *Capabilities*
 - *Mandatory Access Control*
- **Systemsoftware und Sicherheit**
 - Hardwarebasierter Schutz
 - Softwarebasierter Schutz
- Zusammenfassung

Systemsoftware und Sicherheit

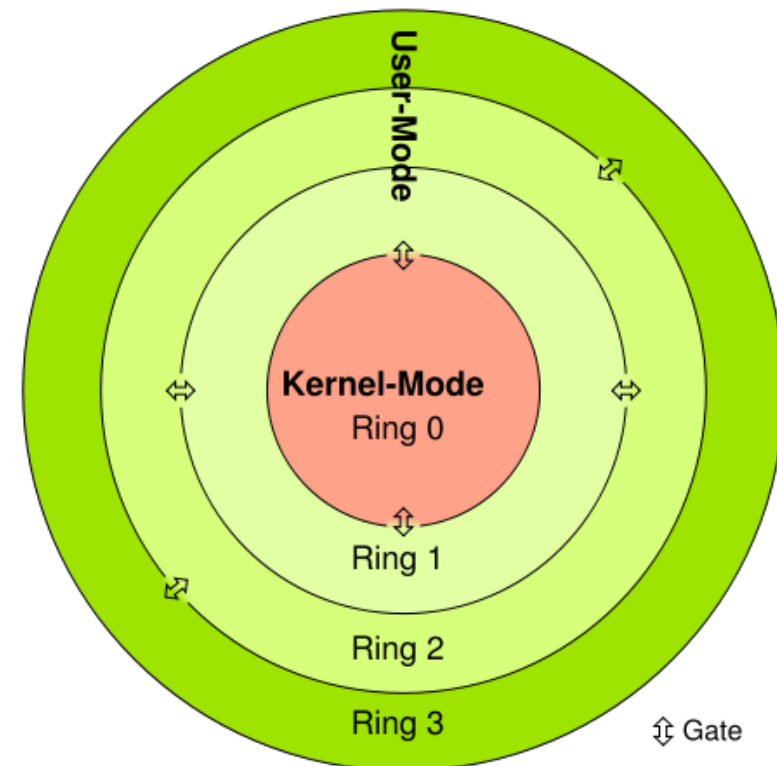
- Schutz auf Hardware-Seite
 - MMU
 - Schutzringe
- ... ergänzt durch Schutz auf Systemsoftware-Seite
 - Alleinige Kontrolle der Hardware durch das Betriebssystem
 - Alleinige Kontrolle über alle Prozesse
 - Alleinige Kontrolle über alle Ressourcen
 - Bereitstellung von
 - Identifikationsmechanismen
 - Authentisierungsmechanismen
 - Privilegseparation
 - Kryptographische Sicherung von Informationen

Hardwarebasierter Schutz: MMU

- **Memory Management Unit**
 - Hardwarekomponente der CPU, die Zugriff auf Speicherbereiche umsetzt und kontrolliert
 - Umsetzung von Prozess-Sicht (virtuelle Adressen) auf Hardware-Sicht (physische Adressen)
- Einteilung des Hauptspeichers in „Seiten“ (*pages*)
- Schutz durch ...
 - Einblendung nur der genau benötigten Menge an Speicherseiten des Hauptspeichers in den virtuellen Adressraum eines Prozesses
 - **Isolation** der physischen Adressräume unterschiedlicher Prozesse
 - Schutzbits für jede Seite, die bei jedem Zugriff kontrolliert werden
 - Lesen/Schreiben/Code ausführen
 - Zugriff im *User-Mode/Supervisor-Mode*

Schutzringe

- Privilegienkonzept
 - Ausführung von Code ist bestimmtem Schutzring zugeordnet
 - Code in Ring 0 hat Zugriff auf alle Ressourcen des Systems
 - User-Programme laufen in Ring 3
 - Ringe 1 u. 2 für BS-nahen Code
 - z.B. Gerätetreiber
- Ringe schränken ein ...
 - den nutzbaren **Befehlssatz** der CPU
 - z.B. keine Interruptsperrungen in Ring > 0
 - den zugreifbaren **Adressbereich** für den Prozess
 - Sperre von I/O-Zugriffen

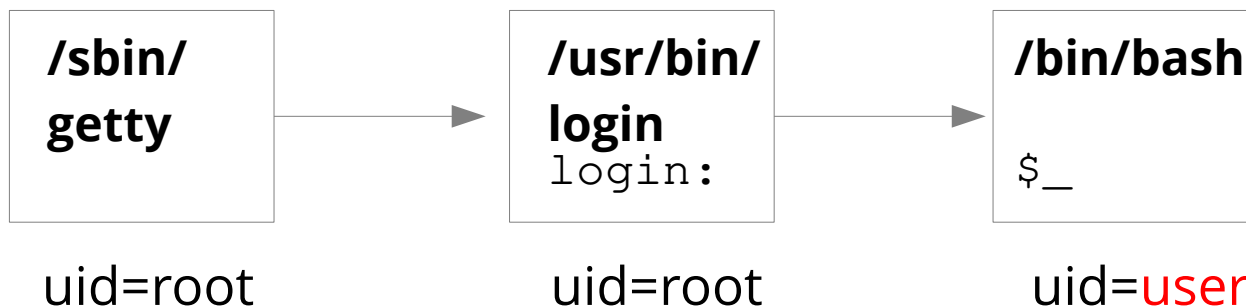
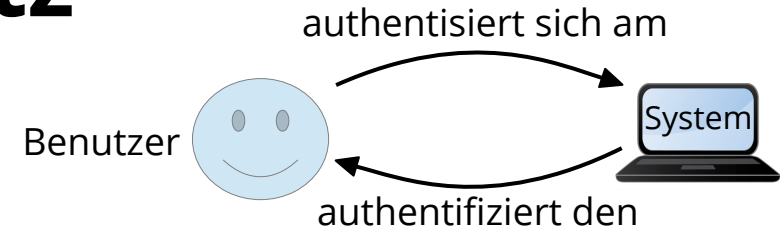


Softwarebasierter Schutz

- Identifikationsmechanismen
- Unix: Benutzeridentifikation, Gruppenidentifikation
 - Numerischer Wert
 - Umgesetzt in Texte (Usernamen, Gruppennamen) durch *lookup* in */etc/passwd*
- Ressourcen haben zugeordnete Besitzer
- Superuser: uid = 0
 - ... hat alle Rechte im System.

Softwarebasierter Schutz

- Authentifizierungsmechanismen
 - Unix login
 - Abfrage von Benutzernamen und Passwort
 - Verifikation des Passworts mit im System hinterlegtem Passwort
 - Entweder durch Verschlüsselung des eingegebenen Passworts und Vergleich mit dem hinterlegten verschlüsselten Wertes
 - Oder durch Verifikation eines *Hash*-Wertes
 - Der login-Prozess startet dann das erste Benutzerprogramm (z.B. eine *shell*) mit der uid und gid, die zum eingegebenen Benutzernamen gehören



Softwarebasierter Schutz

- Kryptographische Sicherung von Informationen
 - z.B. Passwörter der Systembenutzer DES-verschlüsselt
 - Ursprünglich in Unix: `/etc/passwd`

```
root:4t6f4rt3423:0:0:System Administrator:/var/root:/bin/sh
daemon:ge53r3rfrg:1:1:System Services:/var/root:/usr/bin/false
me:1x3Fe5$gRd:1000:1000:Michael Engel:/home/me:/bin/bash
```
 - *Problem*: verschlüsselte Passwörter für alle Benutzer lesbar
 - ... und mit genügend Zeit auch durch „**brute force**“-Angriff zu knacken
 - Fertige Tools wie z.B. *John the Ripper*
- Heute: Nur Benutzerinformationen in `/etc/passwd`
 - Passwörter stehen separat in `/etc/shadow`!

```
-rw-r--r-- 1 root root 1353 May 28 22:43 /etc/passwd
-rw-r----- 1 root shadow 901 May 28 22:43 /etc/shadow
```

Inhalt

- Überblick über Sicherheitsprobleme
- Rechteverwaltung
 - Schutzmatrix
 - *Access Control Lists*
 - *Capabilities*
 - *Mandatory Access Control*
- Systemsoftware und Sicherheit
 - Hardwarebasierter Schutz
 - Softwarebasierter Schutz
- **Zusammenfassung**

Fazit

- Sicherheit in vernetzten Umgebungen immer relevanter
 - Extrem hoher Schaden durch **Viren**, **Phishing**, **Botnets**, **Ransomware**, ...
- Umsetzung von zentralen **Entwurfsprinzipien**
 - geringstmögliche Privilegisierung, sichere Standardeinstellungen, Separierung von Privilegien
- **Schutz** durch Hardware- und Softwaremechanismen
 - **Isolation** mit Hilfe der MMU, Supervisor-/Usermode
 - Authentifizierung, Repräsentation des Nutzers in Prozessen
 - **Zugriffsmatrix** – Operation(Subjekt, Objekt)
 - Umsetzung in Kombination von ACLs, Capabilities und MAC
- (relativ) neu: Nicht einmal mehr auf die Hardware ist Verlass ...
 - Stichworte **„Meltdown“**, **„Spectre“**, **„Rowhammer“** und Co.