Betriebssysteme (BS)

12. Systemsicherheit

https://sys.cs.tu-dortmund.de/de/lehre/ss24/bs

08.07.2024

Peter Ulbrich

peter.ulbrich@tu-dortmund.de
bs-problems@ls12.cs.tu-dortmund.de
https://sys.cs.tu-dortmund.de/de/lehre/kummerkasten

In Teilen basierend auf *Betriebssysteme* von Olaf Spinczyk, Universität Osnabrück

technische universität
dortmund

Arbeitsgruppe
Systemsoftware

Inhalt

- Überblick über Sicherheitsprobleme
- Rechteverwaltung
- Systemsoftware und Sicherheit
- Softwarefehler
- Zusammenfassung

Tanenbaum
9: IT-Sicherheit

Silberschatz
14: Protection
15: Security

Sicherheitsprobleme

- **Begriffsdefinition: *Sicherheit***
  - **Safety**
    - Schutz vor Risiken durch (Software-)Fehler, Störungen oder Ausfällen
    - **Funktionale Sicherheit**
  - **Security**
    - Schutz von Menschen und Rechnern vor intendierten Fehlern (Angriffen)
    - **Datensicherheit**
- Beide Themenbereiche sind für Systemsoftware relevant!
  - Im Folgenden: Fokus auf 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),

   ...

Beispiel: Login-Attrappe

- **Angreifer startet Benutzerprogramm, das am Bildschirm einen Login-Screen simuliert**
- Der ahnungslose Benutzer tippt **Benutzername** und sein privates **Passwort** ein.
  - Angreiferprogramm speichert Benutzername und Passwort in Datei,
  - terminiert aktuelles Shell-Programm
  - 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. Strg-Alt-Entf 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
- **Virus-Arten**
  - Bootsektor-Viren: beim Systemstart
  - Linkviren: Ausführbares Programm als Virus
  - Makroviren: in skriptbaren Programmen wie Word, Excel
    - Durch Dokumente verbreitet!
- Verbreitung durch Austausch von Datenträgern, E-Mails, Webseiten

Beispiel: Social Engineering

- Zugang zu Systemen durch **Ausnutzung menschlicher Fehler**
  - Kein Problem der Systemsoftware, aber immens wichtig
- **Phishing**
  - über gefälschte WWW-Adressen an Daten eines Internet-Benutzers gelangen
  - z.B. durch gefälschte E-Mails von Banken
- **Pharming**
  - Manipulation der DNS-Anfragen von Webbrowsern
  - Umleitung von Zugriffen, z.B. auf gefälschte Bank-Webseiten
  - Verdächtige Zertifikate werden von Nutzern meist ignoriert.

Arten von „Schädlingen“ (1)

- **Viren**
  - unabsichtliche Verbreitung „infizierter“ Programme/Dokumente
  - Reproduktion: Einschleusen in andere Programme/Dokumente
- **Würmer**
  - keine Anwender-„Unterstützung“ bei der Verbreitung in neue Systeme
  - versuchen, **aktiv** in neue Systeme einzudringen
  - Ausnutzung von Sicherheitslücken auf Zielsystemen
- **Trojanische Pferde („Trojaner“)**
  - Programm, das **als nützliche Anwendung getarnt** ist
  - ohne Wissen des Anwenders: Ausführen einer Schadfunktion, 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
- Systemsoftware und Sicherheit
- Softwarefehler
- Zusammenfassung

Ziele der Rechteverwaltung

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

Anforderungen

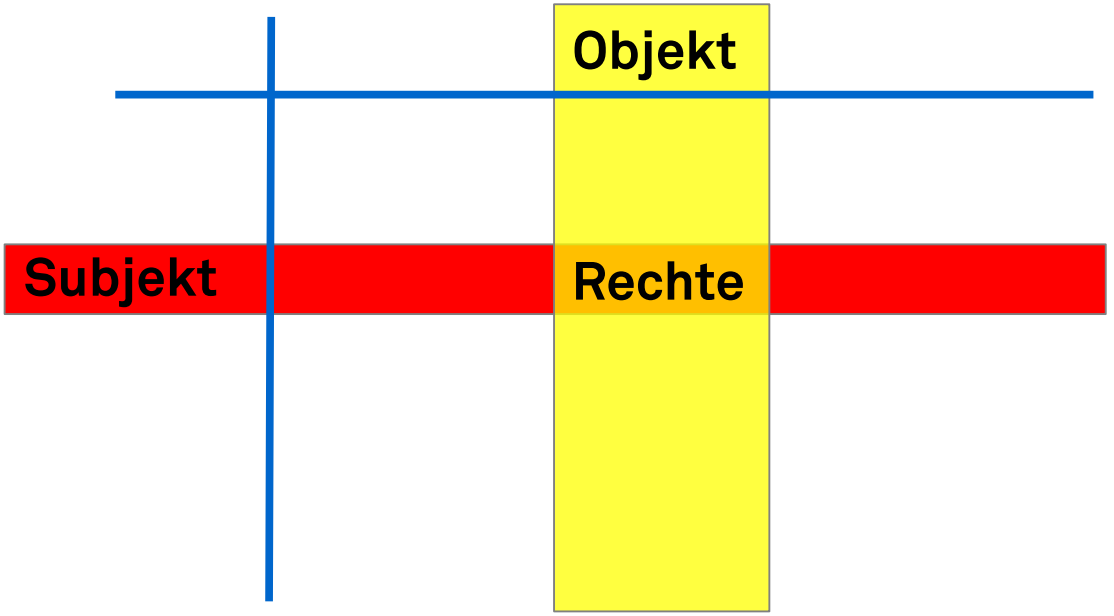
- alle **Objekte** eines Systems müssen eindeutig und fälschungssicher identifiziert werden
- (externer) **Benutzer** eines Systems muss eindeutig und fälschungssicher identifiziert werden
  - ➔ Authentifizierung
- Zugriff auf Objekte sollte nur über zugehörige **Objektverwaltung** geschehen
- Zugriff auf Objekte nur, wenn Zugreifer nötige **Rechte** hat
  - Rechte müssen fälschungssicher gespeichert werden
  - Weitergabe von Rechten darf nur kontrolliert erfolgen

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:** Systemdienste mit „root-Rechten“ (Unix)
- **Sichere Standardeinstellungen** (*„secure defaults“*)
  - **Beispiel:** neu installierte Server-Software
- **Separierung von Privilegien** (*„separation of duties“*)
  - mehrfache Bedingungen für die Zulassung einer Operation

Zugriffsmatrix

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



Basismodell: Datei-/Prozessattribute

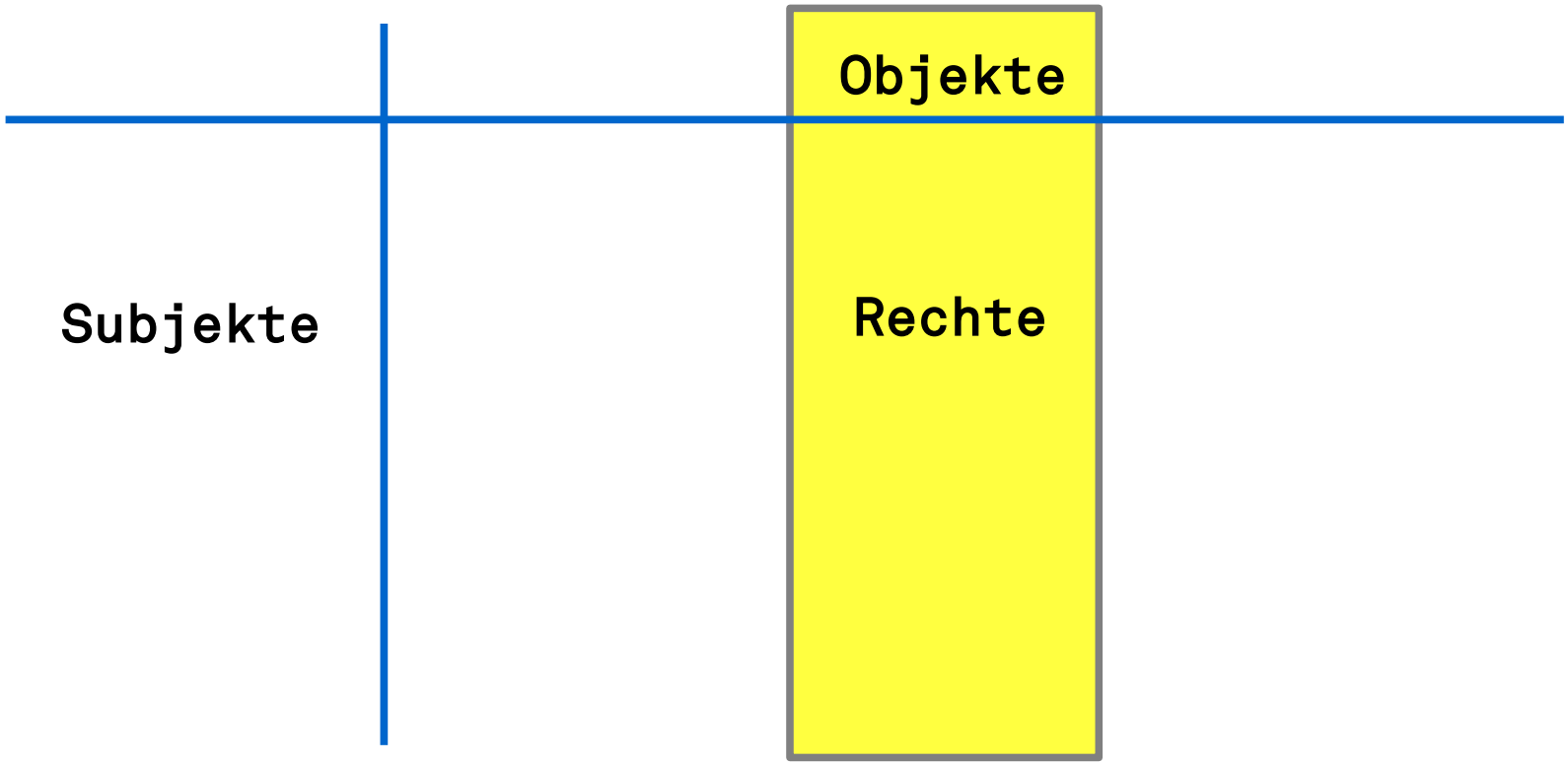
- Festlegungen in Bezug auf Benutzer:
  - Für welchen Benutzer arbeitet ein Prozess?
  - Welchem Benutzer gehört eine Datei (*owner*)?
  - Welche Rechte räumt ein Benutzer anderen und sich selbst an „seiner“ Datei ein?
- Rechte eines Prozesses an einer Datei
  - Attribute von Prozessen: **User ID**
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

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: **Mandatory access control**
  - bei jedem Zugriff werden Regeln ausgewertet

Access Control Lists (1)

- Spaltenweise Darstellung: **ACL – Access Control List**
- Festlegung für jedes **Objekt**, was welches **Subjekt** damit tun darf



Access Control Lists (2)

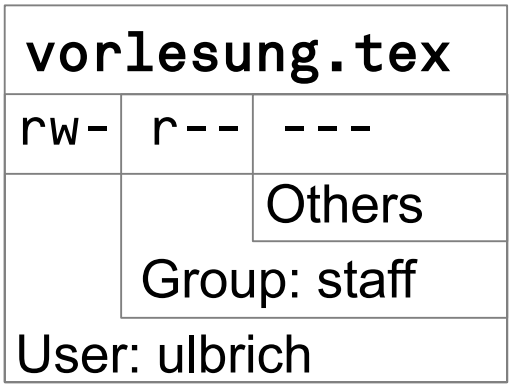
- **Setzen der ACLs darf:**
  - Wer einen ACL-Eintrag für dieses Recht hat
  - Erzeuger der Datei
- **Beispiel Multics:** Tripel (Nutzer, Gruppe, Rechte)

```
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--)
```

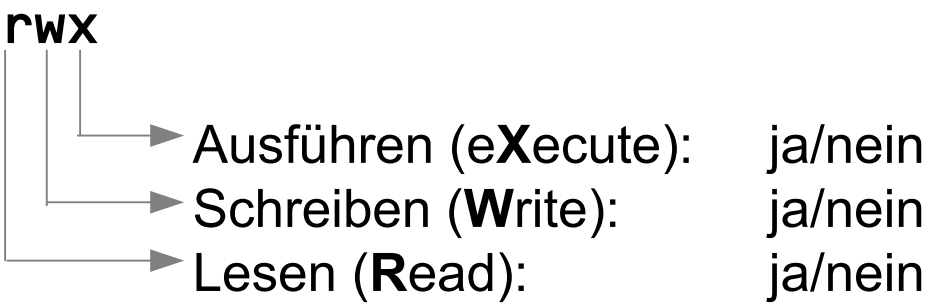
- **Beispiel Windows (ab NT):**
  Pro Objekt eine Liste von *Access Control Entries* (ACEs)
  - *Trustee* (Nutzer oder Gruppe)
  - Rechte (jew. mit *allow* oder *deny*): *full control*, *modify*, *read*, *execute*, ...

Unix-Zugriffsrechte

- **Unix:** rudimentäre Zugriffssteuerlisten
  - Prozess: User ID, Group ID
  - Datei: Owner, Group
  - Rechte in Bezug auf User (Owner), Group, Others
- **Neuere Unix-Systeme implementieren auch ACLs**
  - siehe get/setfacl (1)
  - Problem: Dateisystem-Integration, Kompatibilität mit Anwendungen

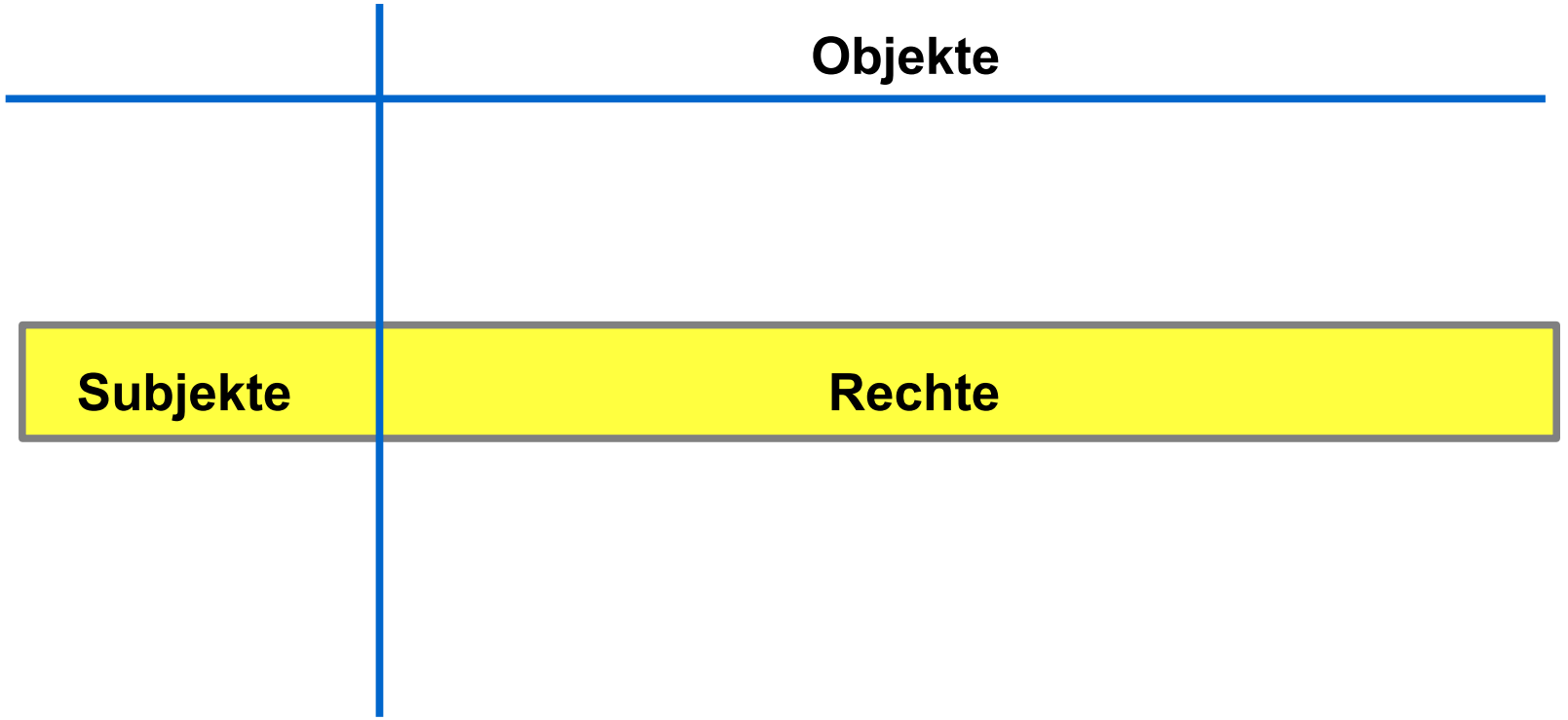


Dateiattribute:



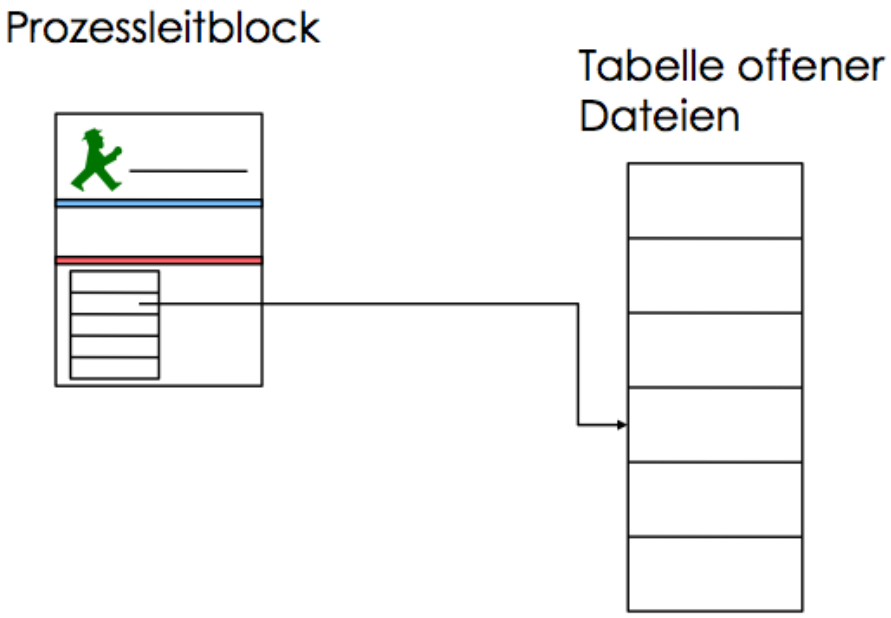
Capabilities

- Zeilenweise Darstellung der Schutzmatrix: **Capability**
- Festlegung für jedes Subjekt, wie es auf welche Objekte zugreifen darf



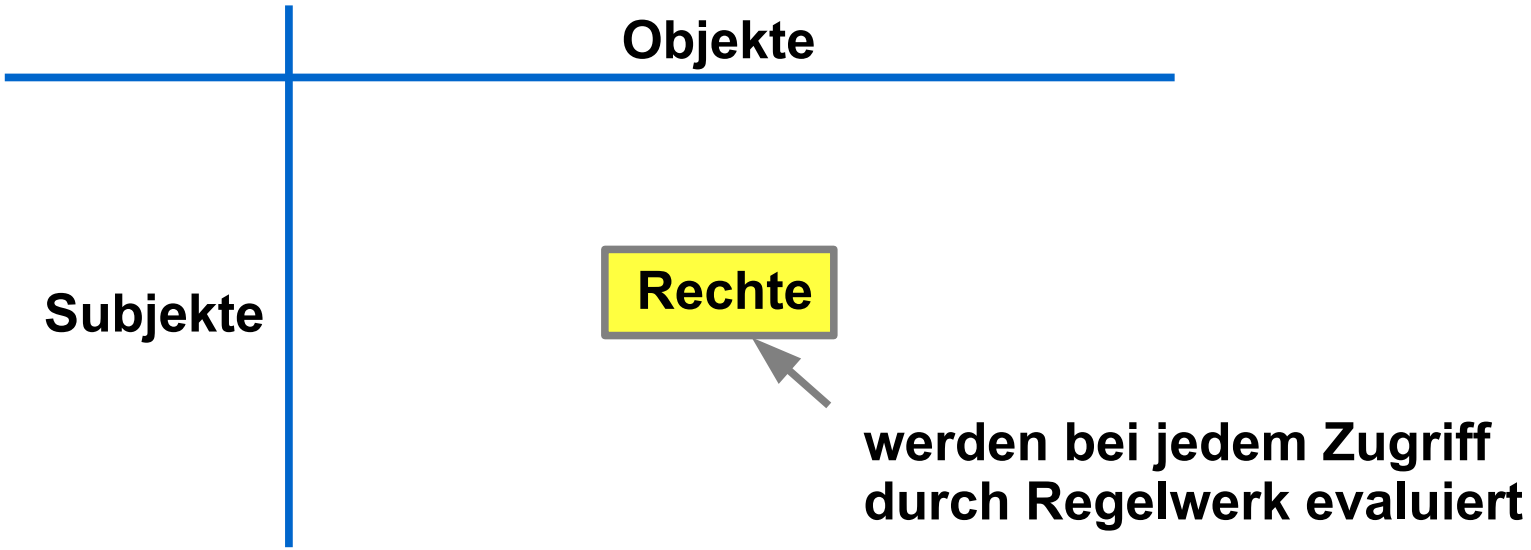
Capabilities: Beispiel

- **Rudimentäre Form:** Unix-Dateideskriptoren
- Weitergabe durch **`fork`**-Systemaufruf
  - Ermöglicht Zugriff auf Dateien ohne erneute Prüfung der UNIX-Zugriffsrechte



Schutzmatrix regelbasiert

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



Inhalt

- Überblick über Sicherheitsprobleme
- Rechteverwaltung
- Systemsoftware und Sicherheit
- Softwarefehler
- Zusammenfassung

Systemsoftware und Sicherheit

- **Schutz auf Hardware-Seite**
  - MMU (Speicher)
  - Schutzringe (CPU)

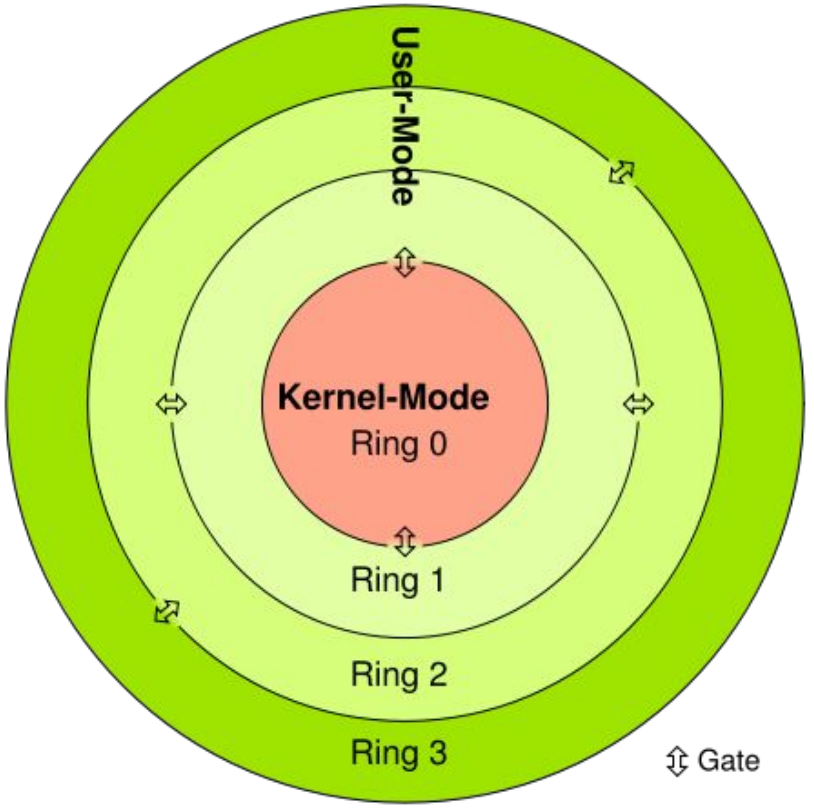
- **… ergänzt durch Schutz auf Systemsoftware-Seite**
  - Betriebssystem hat **alleinige Kontrolle**
    - der Hardware
    - über alle Prozesse
    - über alle Ressourcen
  - Bereitstellung von
    - Identifikationsmechanismen
    - Authentisierungsmechanismen
    - Privilegseparation
    - Kryptographische 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 physikalischen 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**, hier in der x86-Variante
  - 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* des Prozessors
    - z.B. keine Interruptsperren in Ring > 0
  - den zugreifbaren *Adressbereich* für den Prozess
    - Sperre von I/O-Zugriffen

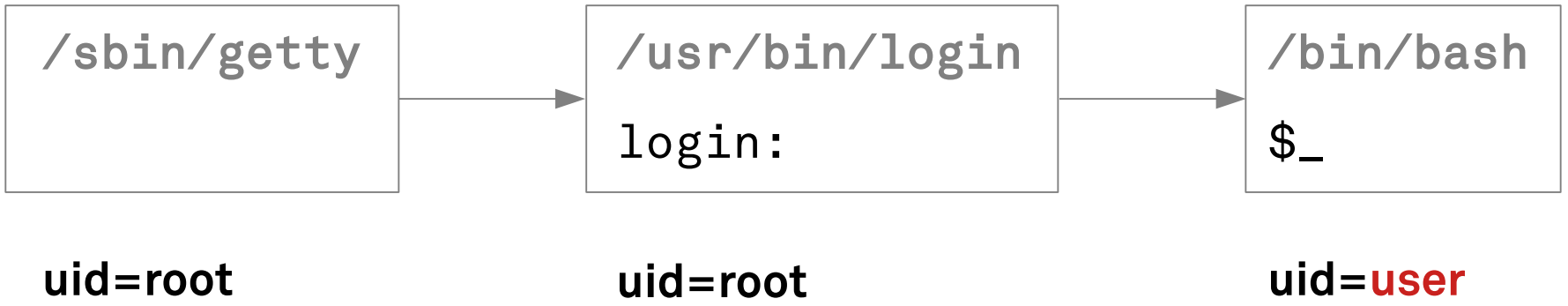


Softwarebasierter Schutz

- Identifikationsmechanismen
- **Unix:** Benutzeridentifikation, Gruppenidentifikation
  - Numerischer Wert
  - Übersetzung in Namen (Usernamen, Gruppennamen) durch Zuordnungstabellen in `/etc/passwd` bzw. `/etc/group`
- Ressourcen haben zugeordnete Besitzer
- Superuser: `uid = 0`
  - Hat volle Rechte auf das System

Softwarebasierter Schutz

- **Authentifizierungsmechanismen**
  - **Beispiel:** 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 Wert
    - 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. Passworte 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 Passworte 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
  - Passworte 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
- Systemsoftware und Sicherheit
- Softwarefehler
- Zusammenfassung

Softwarefehler

- **Trade-off:** Performance ↔ Sicherheit
- C, C++, Assembler: sogenannte „*unmanaged*“-Sprachen
  - u.a. Pointer, keine Prüfung von Arraygrenzen, Wertebereiche-Overflow
- C#, Java: „*managed*“-Sprachen
  - Für Systementwicklung leider i.d.R. ungeeignet.
  - In *managed*-Sprachen gibt es auch Probleme, z.B. mit Speicherlecks!
- **Häufige Probleme:**
  - Pufferüberläufe
  - Wertebereichsüberläufe
- Statistik: Durchschnittlich 1 Fehler pro 1000 Quellcodezeilen

Beispiel: Wertebereiche (1)

- **Problem:** Ganzzahlen werden durch Bitstrings mit begrenzter Bitanzahl dargestellt
- Beispiel: char in C
  - Wird als 8-Bit-Wert dargestellt
  - Wertebereich: $-2^7 \ldots +2^7 - 1$
  - ... oder -128 ... +127
- Die zugehörige binäre Berechnung sieht wie folgt aus (*):
  - Es sind nur die unteren 8 Bit signifikant
  - Ergebnis = -126!

```
char a = 127;
char b = 3;
char Ergebnis = a + b;
```

```
 01111111 (a)
+00000011 (b)
 10000010 (Ergebnis
           ist negativ!)
```

(*) Überlauf bei Vorzeichen-behafteten Datentypen ist in C *„undefined“*, ***kann*** aber auf quasi allen gängigen Architekturen zu einem *Wrap-Around* (zum „negativen Ende“ des Darstellungsbereichs) führen.

Beispiel: Wertebereiche (2)

- **Folgender Code führt zu Problemen:**

```
char string[127] = "Hallo Welt!\n"
char a = 127;
char b = 3;


...

char myfunc(char *string, char index) {
    return string[index];
}


...
printf("%x", myfunc(string, a+b));
```

- **Bester Fall:** ***Segmentation Fault***
- **Schlimmer: Auslesen von „benachbarten“ Daten!**

Inhalt

- Überblick über Sicherheitsprobleme
- Rechteverwaltung
- Systemsoftware und Sicherheit
- Softwarefehler
- Zusammenfassung

Fazit

- Sicherheit in vernetzten Umgebungen immer relevanter
  - Extrem hoher Schaden durch Viren, Phishing, Botnets, Ransomware, ...
  - Auch erfahrene Computerbenutzer sind nicht sicher!
- Sicherheitsüberprüfungen in Code unerlässlich
  - Automatisierte Tests finden nicht alle Fehler
  - Manuelle Audits sind weiterhin erforderlich
  - Dennoch sind Sicherheitsprobleme weiterhin häufig.
    - Systemsoftware muss also ständig aktualisiert werden.
- „Hase-und-Igel“-Spiel
  - „Zero Day Exploits“, also neu entdeckte und nicht veröffentlichte Sicherheitslücken, sind extrem gefährlich.
  - Reaktionszeiten von Systemherstellern im Bereich von Stunden bis Monaten ...