

Systemprogrammierung

Grundlagen von Betriebssystemen

Teil B – VI.3 Betriebssystemkonzepte: Adressbindung

13. Juni 2023

Rüdiger Kapitza

(© Wolfgang Schröder-Preikschat, Rüdiger Kapitza)



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Agenda

- Einführung
 - Semiotik
 - Informatik
- Namensauflösung
 - Speicheradressen
 - Pfadnamen
- Symbolauflösung
 - Übersetzer
 - Binder
 - Lader
- Zusammenfassung

SP

Einführung

B – VI.3 / 2

Gliederung

- Einführung
 - Semiotik
 - Informatik
- Namensauflösung
 - Speicheradressen
 - Pfadnamen
- Symbolauflösung
 - Übersetzer
 - Binder
 - Lader
- Zusammenfassung

SP

Einführung

B – VI.3 / 3

Lehrstoff

Namensauflösung: Symbol \mapsto Adresse

- ein **Vorgang**, der die Adresse eines Adressraums \mathbb{X} an die Adresse eines Adressraums \mathbb{Y} bindet
 - die Adresse in \mathbb{X} ist eine reale, physische Adresse
 - die Adresse in \mathbb{Y} ist eine logische, virtuelle oder symbolische Adresse \hookrightarrow eine Abbildung von einem Adressraum auf einen anderen Adressraum
- die **Bindung** geschieht zu verschiedenen Zeitpunkten, jedoch immer ist das Ziel, **absolute Adressen** zu generieren
 - Übersetzungszeit**
 - der Programmquelltext enthält symbolische Adressen
 - übersetzt mit **Kompilierer** Ebene₅ \hookrightarrow *compile time binding*
 - Ladezeit**
 - Programme enthalten relative/verschiebbare Adressen
 - verlagert mit **Lader** Ebene₃ \hookrightarrow *load time binding*
 - Ausführungszeit**
 - Programme enthalten relative/verschiebbare Adressen
 - verlagert mit **Adressumsetzungseinheit**¹ Ebene₂ \hookrightarrow *execution time binding, run-time binding*

¹Allgemein ein Interpreter, speziell das Betriebssystem und die MMU.

SP

Einführung

B – VI.3 / 4



Definition (www.duden.de)

Kennzeichnende Benennung eines Einzelwesens, Ortes oder Dinges, durch die es von anderen seiner Art unterschieden wird; Eigenname.

- die Bezeichnung von einer **Entität** innerhalb eines Rechensystems, die „nach außen“ zugänglich sein müssen
 - allgemein Stellen im Haupt-, Arbeitsspeicher und in der Ablage
 - zu referenzierende Bezugspunkte von Programmtext und -daten
- dabei hat diese Bezeichnung nur innerhalb von einem bestimmten **Kontext** eine wohldefinierte und eindeutige Bedeutung
 - innerhalb eines (realen, logischen, virtuellen) Adressraum, Dateisystems
- es werden grundlegende **Abbildungsfunktionen** behandelt, die Bezeichnungen in **Adressen** umwandeln
 - Seitenadressierung, Segmentierung und Kombinationen davon
 - Indexierung bei Dateisystemen: Indexknotentabelle, Verzeichnis, Dateien
 - Symbolverwaltung von Kompilierer, Assemblierer, Binder und Lader

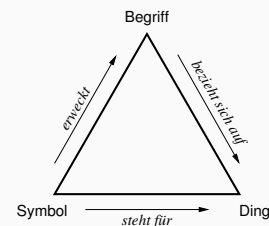
Einführung

Semiotik

Semiotisches Dreieck

Beziehung zwischen Benennung (*Bezeichnung*), Begriff (*Bedeutung*) und Gegenstand (*Bezeichnetes*).

- Benennung meint die Versprachlichung einer Vorstellung
 - ruft Begriffe ins Bewusstsein
 - bezeichnet einen Gegenstand, ein Ding
- Bezeichnung umfasst insbesondere auch nichtsprachliches wie:
 - **Symbole** und **Nummern**
 - Bezeichnetes ist ein Objekt – nicht nur im informatischen Sinne
 - mit einem **Namen** versehen, benannt durch ein oder mehrere Wörter
 - die Benennung ist sprachlich richtig und treffend auszulegen
 - möglichst genau und dabei knapp zugleich
 - am Sprachgebrauch orientieren
 - auf **Fachsprache** bezogen, nicht Flexibilität brauchende Gemeinsprache



Einführung

Informatik

■ Dienstprogramm (*utility*) zum Nachschlagen einer Internetadresse

```

1 #include <sys/socket.h>
2 #include <netinet/in.h>
3 #include <arpa/inet.h>
4
5 #include <netdb.h>
6 #include <stdlib.h>
7 #include <stdio.h>
8
9 int main(int argc, char **argv) {      /* greatly simplified variant of host(1) */
10     if (argc == 2) {
11         struct hostent *host = gethostbyname(argv[1]);
12         if (host != NULL) {
13             unsigned int i = 0;
14             printf("%s = ", host->h_name);
15             while (host->h_addr_list[i] != NULL)
16                 printf("%s ", inet_ntoa(*(struct in_addr*)(host->h_addr_list[i++])));
17             printf("\n");
18         }
19     }
20 }

```

- darin werden verschiedene Dinge symbolisch bezeichnet
 - das Programm `main` samt Variablen `argc`, `argv`, `host` und `i`
 - sowie die Unterprogramme `gethostbyname`, `printf` und `inet_ntoa`
- hinzu kommen Bezeichnungen, die in der Hand der Umgebung liegen
 - der Dateiname `host.c` und Pfadname `./a.out` bzw. `./host`
 - sowie eine Internetadresse als Programmparameter `argv[1]`

- durch Kompilierer, Assembler und Binder (Ebene₅ → Ebene₃)
 - symbolische (Text, Daten) auf numerische Referenz
- durch Betriebssystem (Ebene₃ → Ebene₂)
 - numerische Referenz auf virtuelle, logische oder reale Adresse
 - insbesondere auch Prozesskennung (PID) auf Prozesskontrollblock
 - aber ebenso Dateizeiger (`FILE*`) auf Dateideskriptor
 - allgemein/abstrakt: eine Handhabe (*handle*) auf eine Systemressource
 - symbolische auf numerische Referenz²
 - Pfadname (Verzeichnis, Datei) auf Indexknotennummer (*inode number*)
 - Internetadresse (URL) auf Netzwerkadresse (IP-Adresse)

Gemeinsamkeit: *Symbol* → *Nummer*

Dies trifft auch zu auf die Herleitung einer virtuellen, logischen oder realen Adresse aus einer numerischen Referenz. Denn letztere ist als Zwischenschritt zu begreifen, der Dinge eines symbolisch formulierten Programms eine numerische Identität gibt. Daher ist die Abbildung Ebene₅ → Ebene₂ ganzheitlich zu sehen:

↔ symbolische Referenz auf virtuelle, logische oder reale Adresse.

²Die ggf. auf eine Speicheradresse abgebildet wird, wie eben geschildert.

Gliederung

Einführung

Semiotik

Informatik

Namensauflösung

Speicheradressen

Pfadnamen

Symbolauflösung

Übersetzer

Binder

Lader

Zusammenfassung

Namensauflösung

Speicheradressen

Definition ([1, S. 157–158])

- An address used by the programmer is called a “name” or a “virtual address,” and the set of such names is called the address space, or name space.
- An address used by the memory is called a “location” or “memory address,” and the set of such locations is called the memory space.
- Since the address space is regarded as a collection of **potentially** usable names for information items, there is no requirement that every virtual address “represent” or “contain” any information.

- die Deutung ist **kontextabhängig**, ebenso was die Adresse bezeichnet
 - derselbe Name in verschiedenen Namensräumen kann verschiedene Orte (nicht nur in einem Rechensystem) adressieren
 - derselbe Ort kann über verschiedene Namen adressiert werden

- Adressen, die **Speicherorte** bezeichnen, können realer, logischer oder virtueller Natur sein

- real**
 - muss exakt dort liegen, intern
- logisch**
 - kann woanders liegen, intern
- virtuell**
 - kann woanders liegen, intern oder extern

Den Ziffern allein ist der wirkliche Ort nicht anzusehen.

- als **interner Ort** ist ein Platz im Hauptspeicher gemeint, identifiziert durch eine Adresse im realen Adressraum
 - insbesondere die „anwesende Seite“ im Falle von Speichervirtualisierung
- demgegenüber drückt **externer Ort** aus, dass der Platz irgendwo im System aber eben nicht im Hauptspeicher liegt
 - in der Ablage oder im Hauptspeicher eines anderen Rechensystems
 - beide gegebenenfalls nur indirekt über ein Rechnernetz zugänglich
- dies schließt **speicherabgebildete (memory-mapped) Dinge** mit ein, also im logischen/virtuellen Adressraum platzierte Objekte
 - wie etwa Gerätereister, Bildspeicher oder **Dateien**
 - der Zugriff läuft dann über Lese-/Schreibaktionen der Befehlsatzebene

Organisation des Namensraums

- **Seitenadressierung (paging)** mittels **Seitentabelle** [5, S. 29–30]
 - jede von der CPU generierte Adresse wird gedeutet als $A_p = (p, o)$, wobei
 - Versatz** $o = [0, 2^w - 1]$, mit $9 \leq w \leq 30$ (offset)

Seitennummer $p = [0, 2^{n-w} - 1]$, mit $32 \leq n \leq 64$, Tabellenindex

- eine gewöhnliche **lineare Adresse** \rightsquigarrow **eindimensionaler Adressraum**
 - d.h., Oktetts oder Worte in einer Dimension aufgereiht

- **Segmentierung (segmentation)** mittels **Segmenttabelle**

- jede Adresse ist repräsentiert als Zweitupel $A_s = \langle s, d \rangle$, wobei

Segmentname $s = [0, 2^m - 1]$, mit $12 \leq m \leq 18$, Tabellenindex

Verschiebung $d = [0, 2^n - 1]$, mit $32 \leq n \leq 64$ (displacement)

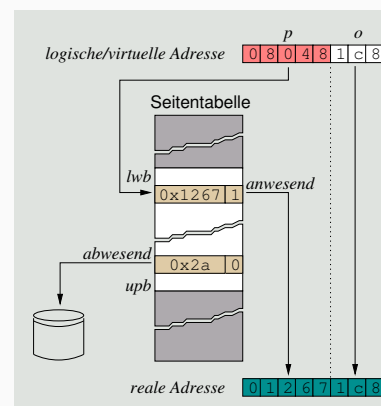
- Zweikomponentenadresse \rightsquigarrow **zweidimensionaler Adressraum**
 - d.h., Segmente in der ersten und Segmentinhalte in der zweiten Dimension

- Kombination:

- **segmentierte Seitenadressierung (segmented paging)**
 - die Seitentabellen sind segmentiert, d.h., $A_p = (p, o)$ mit $p = (s, d)$
- **seitennummerierte Segmentierung (paged segmentation)**
 - die Segmente sind seitennummeriert, d.h., $A_s = \langle s, d \rangle$ mit $d = (p, o)$ oder die Segmenteinheit generiert eine lineare Adresse A_p für die Seiteneinheit

Seitenadressierung

- auf Basis einer ein-/mehrstufigen **Seitentabelle** als statisches Feld:



- p ist **Indexwert** für gültige Seiten im Bereich $[P_{lwb}, P_{upb}]$
 - sei $P = 2^{n-i}$ max. Seitenanzahl
 - dann gilt $0 \leq P_{lwb} < P_{upb} \leq P - 1$
- ein möglicher **Indexfehler** muss erkannt werden
 - Tabelle auffüllen mit Einträgen, die Abbildungsfehler erzwingen
 - Grenzwertprüfung auf Basis eines *limit*-Registers ist unüblich
- P hängt ab von Seitengröße 2^i und bestimmt die Stufenanzahl

- ein **Seitenfehler (page fault)** bedeutet damit verschiedenerlei:
 - gültig falls $P_{lwb} \leq p \leq P_{upb}$, dann ist p abwesend oder ungenutzt
 - eine ungenutzte Seite ist gültig, sie wurde nur noch nicht abgebildet
 - sonst ungültig: die betreffende Seite gehört nicht zum Prozessadressraum

Namensauflösung

Pfadnamen

Adresse als Standort

...einer bestimmten Bestandsart

- gemeint sind Standortnamen von **Dateien** in der **Ablage**, aber auch zur Bezeichnung lokaler **Betriebsmittel** oder Systemstrukturen
 - ursprünglicher Bezugspunkt ist die Datei (*file*), d.h., eine abgeschlossene Einheit zusammenhängender Daten
 - dieses **speicherzentrische Betriebsmittel** ist aber nur das Beispiel einer einzelnen Bestandsart, andere sind etwa:
 - Kommunikationsmittel** – Kanal (*pipe*), Sockel (*socket*), Briefkasten
 - Gerät** – zeichen-, block-, stromorientiert
 - Zustandsdaten** – Prozesstabelle, Adressraumbelugung, ...
 - allgemein sind so einige anwendungsrelevante und durch Betriebssysteme bereitgestellte **Typen** namentlich zugänglich
- wichtiger Aspekt in dem Zusammenhang ist das **Verzeichnis** solcher Namen und die zugrunde gelegte Organisationsform
 - Struktur eines Namensraums in lokaler und globaler Hinsicht
 - Art der Verknüpfung zwischen Namen und dem benannten Ding
- ist **Persistenz** von Namen, Verzeichnissen und Abbildungen verlangt, bietet ein **Dateisystem** eine adäquate Grundlage

SP

Namensauflösung

B – VI.3 / 14

Benennung

... von Exemplaren bestimmter Betriebsmitteltypen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Benennung>

Bezeichnung eines Gegenstands durch ein Wort oder mehrere Wörter.

- gedeutet in Bezug auf grundlegende Betriebssystemkonzepte, die mit Multics [8] eingeführt wurden:
 - ein Wort**
 - der **Name** relativ zu einem bestimmten **Kontext**
 - lokal (in seinem Kontext) eindeutig, global mehrdeutig
 - mehrere Wörter**
 - der **Pfadname** im Namensraum zum benannten Ding
 - global eindeutige Bezeichnung des Namenskontextes
- die **Mehrwortbenennung** sieht einen „Trenntext“ als **Separator** vor, den die Namensverwaltung im Betriebssystem definiert, z.B.:
 - > ■ Multics (*greater-than*)
 - / ■ UNIX (*slash*)
 - \ ■ Windows (*backslash*)
- wohingegen jedoch die Namen selbst für die Namensverwaltung ohne Bedeutung sind und i.A. von ihr nicht interpretiert werden³

³„Name ist Schall und Rauch.“ (Goethe: Faust I, Vers 3456 f.)

SP

Namensauflösung

B – VI.3 / 15

Alphabet und Wortlänge

Vielfalt von Zeichenkodes

Jedes Programm (inkl. das Betriebssystem) kann eigenen Ressourcen Zeichenketten zuordnen und Prozessen diese bekanntgeben.

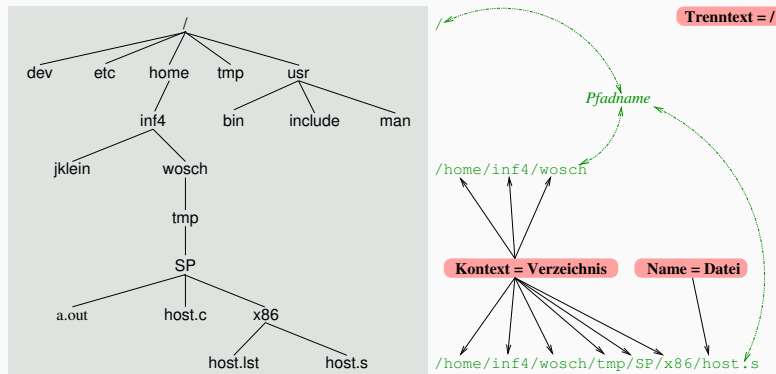
- den **Zeichenvorrat** für Namen und Komponenten eines Pfadnamens gibt die Namensverwaltung des Betriebssystems vor
 - allgemein die Menge der druckbaren Zeichen (ASCII) ohne Trennzeichen⁴
 - je nach Betriebssystem gibt es weitere Ausnahmen (☞ = {"", *, /, ?, |})
- genau genommen werden Bezeichnungen aber aus **Ordnungszahlen** gebildet, die ein **Zeichensatz** erst in Zeichen umwandelt
 - z.B. UTF-8 (Linux), latin-1 (macOS) oder CP 437 (DOS)
 - nicht jede Ordnungszahl entspricht somit zwingend demselben Zeichen !
- ähnlich uneinheitlich ist die erlaubte Länge einer **Zeichenkette**, um Namen oder Pfadnamen zu formulieren
 - 1–255 Zeichen pro Name, bei UNIX auch pro Pfadnamenskomponente
 - bis zu 2¹⁵ – 1 Zeichen pro Pfadname in Windows

⁴Nach ISO 9660: ausschließlich Großbuchstaben, Ziffern und Unterstrich.

SP

Namensauflösung

B – VI.3 / 16



- ein **Kontext** repräsentiert einen Namensraum flacher Struktur
 - darin muss Eindeutigkeit mit der Namenswahl selbst gewährleistet sein
- im Gegensatz zu einem Namensraum hierarchischer Struktur (s. o.)
 - derselbe Name (`tmp`) kann in verschiedenen Kontexten definiert sein
 - durch den Pfadnamen wird sein jeweiliger Standort eindeutig gemacht

- fundamental für die Hierarchiebildung ist das **Verzeichnis**
 - es ordnet einen/mehrere Namen, auch Verzeichnisnamen, listenförmig
 - ist namentlich selbst in einem **Elterverzeichnis** (*parent directory*) gelistet
 - es gibt mehreren Namen ein gemeinsames Merkmal, denselben Kontext
 - bspw. Standort/Bezugspunkt innerhalb des Namensraums, Zugriffsrechte
 - es dient der Umsetzung von symbolischen in numerischen Adressen

Verzeichniseintrag (directory entry)

Speichert die Abbildung eines Namens auf eine Informationsstruktur.

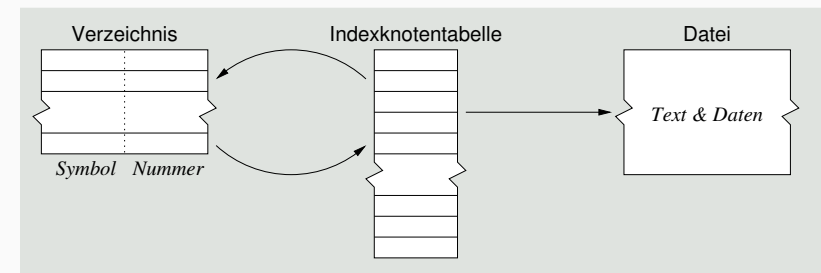
- UNIX-artige Betriebssysteme bieten zudem vordefinierte Kontexte:
 - **Wurzelverzeichnis** (*root directory*) des Systems⁵
 - Einstiegspunkt in, aber auch „Steckverbinder“ für, den Namensraum
 - **Heimatverzeichnis** (*home directory*) eines autorisierten Benutzers
 - initiales Arbeitsverzeichnisses nach erfolgter Anmeldung (*login*)
 - **Arbeitsverzeichnis** (*working directory*) eines zugelassenen Prozesses
 - gegenwärtiger, relativer Standort des Prozesses im Namensraum

⁵Womit der Namensraum in einen bestehenden anderen Namensraum an einem Befestigungspunkt (*mount point*) gegebenenfalls eingebunden werden kann.

- aggregiert wesentliche **Attribute** eines benannten Gegenstands:
 - Eigentümer (*user ID*)
 - Gruppenzugehörigkeit (*group ID*)
 - Rechte (lesen, schreiben, ausführen: für Eigentümer, Gruppe und Welt)
 - Zeitstempel (letzter Zugriff, letzte Änderung (Typ, Zugriffsrechte))
 - Anzahl der Verweise („*hard link*“-Zähler)
 - Typ:
 - Verzeichnis
 - symbolische Verknüpfung (*symbolic link*)
 - Kommunikationskanal (*pipe, named pipe*)
 - Sockel (*socket*) zur Interprozesskommunikation
 - Gerätedatei ~ zeichen-/blockorientiertes Gerät, Pseudogerät, Treiberklasse
 - reguläre Datei ~ Größe in Bytes und Blocknummer(n) in der Ablage
- besitzt in einem Namensraum eine eindeutige **numerische Adresse**

Indexknotennummer (inode number)

Hat mit einer logischen Adresse gemeinsam, dass sie nur innerhalb ihres „Adressraums“ (d.h. Namensraums) eindeutig ist.



- die **Indexknotentabelle** (*inode table*) ist ein statisches Feld (*array*) von Indexknoten und die zentrale Datenstruktur
 - ein Indexknoten ist **Deskriptor** insb. eines Verzeichnisses oder einer Datei
- das **Verzeichnis** (*directory*) ist eine **Abbildungstabelle**, es übersetzt symbolisch repräsentierte Namen in Indexknotennummern
 - eine von der Namensverwaltung des Betriebssystems definierte Datei
- die **Datei** (*file*) ist eine abgeschlossene Einheit zusammenhängender Daten beliebiger Repräsentation, Struktur und Bedeutung

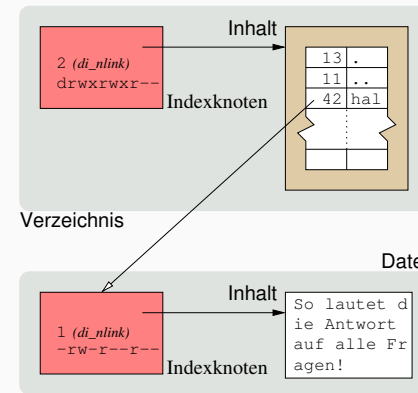
- die **feste Verknüpfung** (*hard link*) von einem Dateinamen mit einer Indexknotennummer (UNIX V7, `dir.h`):

```

1 typedef unsigned short ino_t;
2
3 #define DIRSIZ 14
4
5 struct direct {
6     ino_t d_ino;
7     char d_name[DIRSIZ];
8 };
    
```

- eine als **Wertepaar** gespeicherte **surjektive Abbildung**
- mehrere Paare können zum selben Indexknoten (`d_ino`) zeigen
- im selben Verzeichnis jedoch mit verschiedenen Namen (`d_name`)
- in einem Indexknoten ist die Anzahl der auf ihn verweisenden Wertepaare desselben Namensraums gespeichert (*reference counter*)
- alle Indexknoten eines Namensraums sind in einer **Indexknotentabelle** (*inode table*) im Namensraum daselbst gespeichert
 - `d_ino` ist der **Indexwert** eines Verzeichniseintrags für diese Tabelle
- Anlegen/Löschen erfordert **Schreibzugriffsrecht** auf das Verzeichnis
 - unabhängig von den Zugriffsrechten auf die referenzierte Datei

- ein Namenverzeichnis ist eine **spezielle Datei** der Namensverwaltung



- das selbst einen Namen hat, der einen Indexknoten bezeichnet
- über eine Verknüpfung erreichbar ist aus einem anderen Verzeichnis
- Namen getrennt von eventuellen Dateiinhalten gespeichert

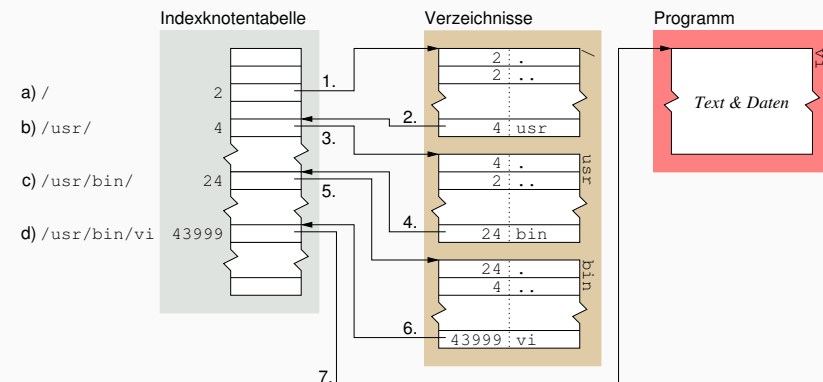
Verknüpfungen anlegen/löschen zu können, ist eine **Berechtigung**, die sich nur auf das Verzeichnis der betreffenden Verknüpfungen bezieht!

- Selbstreferenz („dot“, 13) und Elterverzeichnis („dot dot“, 11) geben wenigstens zwei Verweise auf ein Verzeichnis
 - auch wenn das Verzeichnis selbst sonst keine weiteren Namen enthält

- Namensbindung** (*name binding*) kommt zuerst, also die Abbildung der symbolischen Adresse in eine numerische Adresse
 - einen Pfadnamen mit einem Indexknoten assoziieren: `creat(2)`, `link(2)`
 - geschieht zum **Erzeugungszeitpunkt** eines Datei-/Verzeichnisnamens
 - diesen mit einem freien/belegten Indexknoten verknüpfen und
 - dann in ein Namensverzeichnis eintragen
- Namensauflösung** (*name resolution*) kommt später, die Umsetzung der symbolischen Adresse in eine numerische Adresse
 - einen Indexknoten anhand eines Pfadnamens lokalisieren: `open(2)`
 - geschieht zum **Benutzungszeitpunkt** eines Datei-/Verzeichnisnamens
 - Verzeichnisse für jeden einzelnen Namen im Pfad durchsuchen und
 - schließlich den Dateinamen (Blatt) auffinden

Hinweis

Der Indexknoten besitzt eine Adresse (a) in der Ablage und (b) im Arbeitsspeicher. Diese ist eine Art **virtuelle Adresse**, über die Inhalte von Dateien **speicherabgebildet** im **virtuellen Adressraum** indirekt zugänglich werden. Die Ladestrategie operiert vorausschauend.



- Wurzelverzeichnis des Namensraums öffnen
- darin Namenseintrag `usr` suchen, ist ein Verzeichnis, öffnen
- darin Namenseintrag `bin` suchen, ist ein Verzeichnis, öffnen
- darin Namenseintrag `vi` suchen, ist ein Programm, öffnen

- Indexknotennummern gelten in einem bestimmten **Namenraum**
 - der Zugriff auf einen anderen Namensraum ist darüber nicht möglich
 - sie teilen sich damit dieselbe Eigenschaft wie logische/virtuelle Adressen
 - sie sind ein **Tabellenindex**, wie der *p*- bzw. *s*-Anteil dieser Adressen
- der hierarchische Namensr. ist ein **gerichteter azyklischer Graph**
 - um den **Wurzelbaum** zu erhalten, scheiden feste Verknüpfungen aus
 - feste Verknüpfungen zu Verzeichnissen zerstören die azyklische Struktur
 - das Elterverzeichnis (..) eines Verzeichnisses wäre dann uneindeutig
 - die Namensraumabsuche (*name space search*) könnte „endlos schleifen“
- Abbildung $f : N_{symbolisch}^d \mapsto N_{symbolisch}^z$ hat diese Merkmale nicht
 - feste Verknüpfungen sind ununterscheidbar, symbolische nicht: **Dateityp**
 - symbolische Verknüpfungen haben Indexknoten, feste nicht
 - sie gelten daher jeweils auch als:
 - langsam** weil indirekt gespeichert, in den Datenblöcken als reguläre Datei
 - schnell** weil direkt gespeichert, im Indexknoten selbst⁶
- Ursprung ist der **symbolische Name** (*symbolic name*) in Multics [2]
 - zur dynamischen Bindung von Namen an (besondere) E/A-Geräte

⁶Aber nur schnell bei einem Verweis auf einen Eintrag im selben Verzeichnis!

- Einführung
 - Semiotik
 - Informatik
- Namensauflösung
 - Speicheradressen
 - Pfadnamen
- Symbolauflösung
 - Übersetzer
 - Binder
 - Lader
- Zusammenfassung

Symbolauflösung

Übersetzer

Adresse als Symbol

Abbildung $f : A_{symbolisch} \mapsto A_{numerisch}$

- am Anfang ist gemeinhin die **symbolische Adresse** in Programmen, die in einem mehrstufigen Verfahren aufzulösen ist

```

1  int main(int argc, char **argv) {
2      if (argc == 2) {
3          struct hostent *host = gethostbyname(argv[1]);
4          if (host != NULL) {
5              unsigned int i = 0;
6              printf("%s = ", host->h_name);
7              while (host->h_addr_list[i] != NULL)
8                  printf("%s ", inet_ntoa(*(struct in_addr*)(host->h_addr_list[i++]));
9              printf("\n");
10         }
11     }
12 }
```

Kompilierer

- verteilt Programmtext und -daten auf Programmsegmente
- generiert dazu Pseudobefehle, die der Assembler deutet

Assembler

- ordnet Programmsymbolen Werte und Attribute zu
- generiert Symbol- und Verlagerungstabellen für den Binder

Binder

- platziert das gebundene Programm im Adressraum
- produziert das Lademodul dazu für das Betriebssystem

- zusätzlich erfolgt die Generierung des Maschinencodes:
 - Kompilierung des Quellcodes in eine andere symbolische Darstellung
 - Assemblerung und Bindung in die benötigte numerische Auslegung

- derselbe Ausschnitt wie zuvor, jedoch dem **Lademodul** entnommen

```

1 0x00000000004003e9 <+9>: mov 0x8(%rsi),%rdi
2 0x00000000004003ed <+13>: callq 0x415e60 <gethostbyname>
3 0x00000000004003f2 <+18>: test %rax,%rax
4 0x00000000004003f5 <+21>: mov %rax,%rbp
5 0x00000000004003f8 <+24>: je 0x400458 <main+120>
6 0x00000000004003fa <+26>: mov (%rax),%rsi
7 0x00000000004003fd <+29>: mov $0x48d1a4,%edi
8 0x0000000000400402 <+34>: xor %eax,%eax
9 0x0000000000400404 <+36>: xor %ebx,%ebx
10 0x0000000000400406 <+38>: callq 0x401120 <printf>
    
```

- vorher noch **unaufgelöste Referenzen** haben definierte Werte erhalten:
 - 0x415e60 ~> gethostbyname
 - 0x48d1a4 ~> .LC0
 - 0x401120 ~> printf
- allen Text- und Datenelementen wurden **absolute Adressen** zugewiesen
 - der Programmausschnitt liegt im Adressbereich [4003e9₁₆, 400406₁₆]
 - bei Ausführung nimmt der Befehlszähler u.a. Werte aus diesem Bereich an
- die Adresswerte allein sagen nichts zur Art des Adressraums aus
 - es könnte ein realer, logischer oder virtueller Adressraum sein
 - Wissen über das **Adressraummodell** des Betriebssystems gibt Aufschluss

Symbolauflösung

Lader

- Adressraumbellegung** für dieses „Programm in Ausführung“

```

1 wosch@fai48e 111$ ./a.out fai40.cs.fau.de &
2 [1] 20857
3 fai40.informatik.uni-erlangen.de = 131.188.34.40
4 wosch@fai48e 112$ cat /proc/20857/maps
5 00400000-00401000 r-xp 00000000 00:2a 38020125 /home/inf4/wosch/tmp/a.out
6 00600000-00601000 rw-p 00000000 00:2a 38020125 /home/inf4/wosch/tmp/a.out
7 01ff9000-0201a000 rw-p 00000000 00:00 0 [heap]
8 7f03d63ad000-7f03d6f82000 rw-p 00000000 00:00 0 shared libraries
9 7ffc79532000-7ffc79553000 rw-p 00000000 00:00 0 [stack]
10 7ffc795b8000-7ffc795b9000 r-xp 00000000 00:00 0 [vdso]
11 ffffffff600000-ffffffff601000 r-xp 00000000 00:00 0 [vsyscall]
    
```

- 5** Textsegment, effektiv 4 KiB (eine Seite), insgesamt 2 MiB
- 6** Datensegment, effektiv 4 KiB (eine Seite), insgesamt ≈ 26 MiB
- 7** Haldenspeicher, vorgegeben 132 KiB, erweiterbar
- 9** Stapelspeicher, vorgegeben 132 KiB, erweiterbar
- die Größenangaben variieren mit dem Programm und dem Prozess !
- für einen Prozess adressier- aber nicht belegbar sind die Bereiche:
 - 8** Gemeinschaftsbibliotheken (*shared libraries*)
 - 10/11** Systemaufrufbeschleunigung (vgl. auch [4, S. 21–22])
- Ladeadresse** — und somit **Verlagerungskonstante** — ist 0x400000
 - der Bereich [0, 3ffff₁₆] ist nicht Teil des Prozessadressraums !

- Einführung
- Semiotik
- Informatik
- Namensauflösung
- Speicheradressen
- Pfadnamen
- Symbolauflösung
- Übersetzer
- Binder
- Lader
- Zusammenfassung

- **symbolische Bezeichnungen** abstrahieren von konkreten Adressen
 - Programmtext- und -datenstellen, Datei-/Pfadnamen, ..., URL
 - üblich ist die mehrstufige statische und dynamische Auflösung
- den Schwerpunkt bildete die **Namensauflösung** ↔ *dynamisch*
 - eine (reale, logische, virtuelle) Adresse ist Name einer Speicherstelle
 - je nach Abstraktionsebene der Haupt- oder Arbeitsspeicher
 - Seitenadressierung, Segmentierung, seitennummerierte Segmentierung
 - Datei-/Pfadnamen repräsentieren Adressen im Ablagesystem
 - der Namens-/Adressraum ist (nicht nur hier) hierarchisch organisiert
 - Orientierung am Dateisystem: Datei, Verzeichnis, Indexknoten, Verknüpfung
 - systemglobale, weltweite Eindeutigkeit liefert die Internetadresse
- Vorarbeit zu all dem leistet die **Symbolauflösung**: ↔ *statisch*
 - Kompilierer**
 - verteilt Programmtext und -daten auf Programmsegmente
 - Assembler**
 - ordnet Programmsymbolen Werte und Attribute zu
 - Binder**
 - platziert das gebundene Programm im Adressraum
 - Lader**
 - legt den „gefüllten“ Adressraum im Arbeitsspeicher ab
- das Zusammenspiel beider Verfahren ist typisch in Rechensystemen
 - nämlich Abbildungsfunktionen, die vor und zur Laufzeit greifen

Zusammenfassung

Bibliographie

Literaturverzeichnis (1)

- [1] DENNING, P. J.:
Virtual Memory.
In: *Computing Surveys* 2 (1970), Sept., Nr. 3, S. 153–189
- [2] FEIERTAG, R. J. ; ORGANICK, E. I.:
The Multics Input/Output System.
In: *Proceedings of the Third ACM Symposium on Operating System Principles (SOSP 1971), October 18–20, 1971, Palo Alto, California, USA, ACM, 1971, S. 35–41*
- [3] KLEINÖDER, J. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. :
Betriebssystemmaschine.
In: [6], Kapitel 5.3
- [4] KLEINÖDER, J. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. :
Maschinenprogramme.
In: [6], Kapitel 5.2

Literaturverzeichnis (2)

- [5] KLEINÖDER, J. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. :
Speicher.
In: [6], Kapitel 6.2
- [6] KLEINÖDER, J. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. ; LEHRSTUHL INFORMATIK 4 (Hrsg.):
Systemprogrammierung.
FAU Erlangen-Nürnberg, 2015 (Vorlesungsfolien)
- [7] KLEINÖDER, J. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. :
Virtuelle Maschinen.
In: [6], Kapitel 5.1
- [8] ORGANICK, E. I.:
The Multics System: An Examination of its Structure.
MIT Press, 1972. –
ISBN 0–262–15012–3

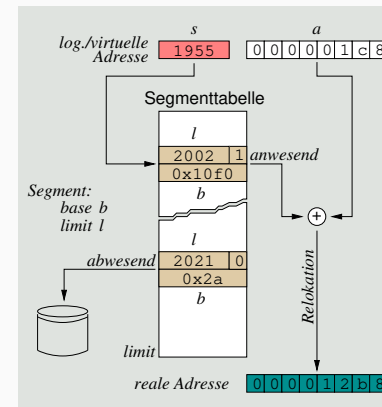
Anhang

Speicheradressen

Segmentierung

segmentation

- auf Basis einer einstufigen **Segmenttabelle** als dynamisches Feld:



- s ist **Indexwert**, der gültig ist im Bereich $[0, S_{limit}]$
- sei $S = 2^m$ max. Segmentanzahl
- dann gilt $0 < S_{limit} \leq S - 1$
- ein möglicher **Indexfehler** muss erkannt werden
- Grenzwertprüfung auf Basis eines *limit*-Registers (MMU) ist üblich
- die Tabelle wird (norm.) nicht mit ungültigen Einträgen aufgefüllt
- S hängt ab von der MMU und dem Betriebssystem

- ein **Segmentfehler** (*seg. fault*) bedeutet dann verschiedenerlei:
 - gültig falls $0 \leq s \leq S_{limit}$ und $a \leq l$, mit $l = \text{Segmenttabelle}[s].limit$, dann ist s abwesend (*swap-in*) oder ungenutzt (dynamisches Binden)
 - sonst ungültig: Segment s oder Adresse a ist für den Prozess undefiniert

SP

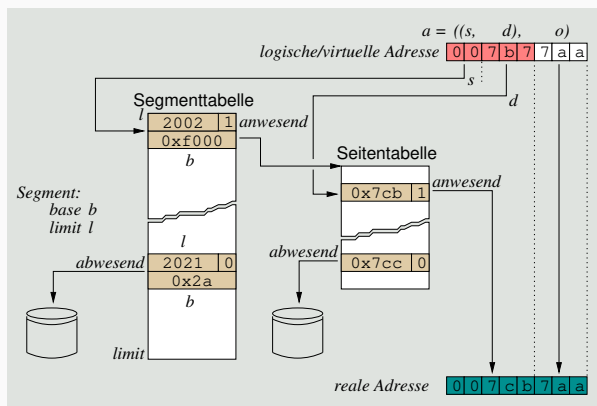
Anhang

B - VI.3 / 37

Segmentierte Seitenadressierung

segmented paging

- auf Basis einer einstufigen **Segmenttabelle** als dynamisches Feld:



- die Seitentabelle:
 - ist segmentiert, dynamisches Feld
 - enthält nur gültige Einträge
 - kann ausgelagert sein (*swapping*)
- Adressraum:
 - eindimensional
 - a ist eine lineare Adresse
 - nicht wirklich segmentiert !

- mögliche Ausnahme (*exception*, vgl. [7, 3]) bei der Adressierung:
 - Segmentfehler** falls $s > S_{limit}$ und $d > l$ (vgl. S. 46) Abbruch
 - Seitenfehler** falls Seite d abwesend (vgl. S. 16) . Wiederaufnahme

SP

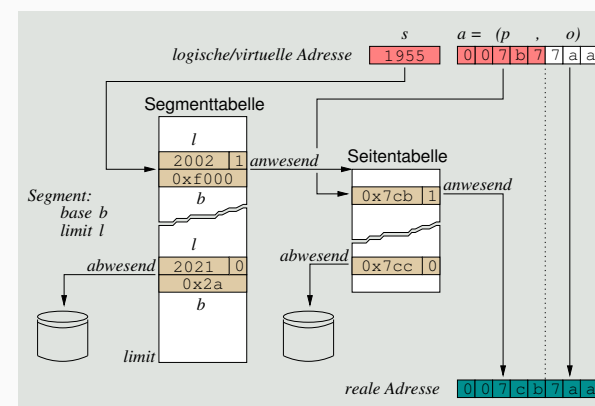
Anhang

B - VI.3 / 38

Seitennummerierte Segmentierung I

paged segmentation

- à la GE645/Multics, einstufige **Segmenttabelle**, dynamisches Feld:



- die Seitentabelle:
 - ist segmentiert, dynamisches Feld
 - enthält nur gültige Einträge
 - kann ausgelagert sein (*swapping*)
- Adressraum:
 - zweidimensional
 - a hat zwei Komponenten
 - stark segmentiert

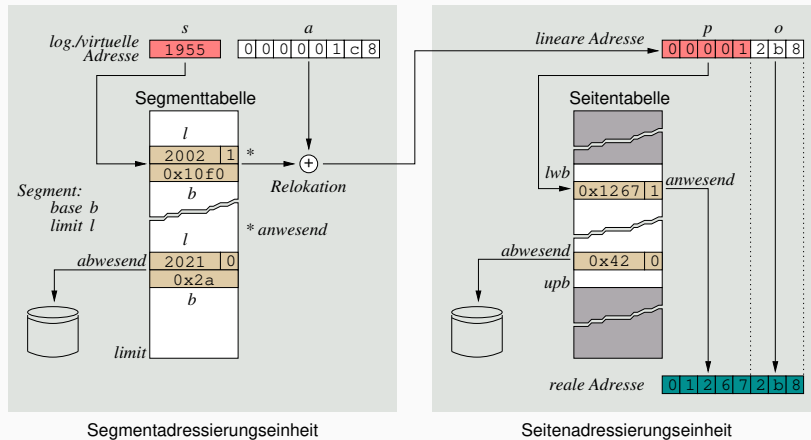
- Ausnahmen wie bei segmentierter Seitenadressierung (vgl. S. 47)
 - hohe Segmentanzahl fördert **dynamisches Binden** (Text, Daten) und **Mitbenutzung** (*sharing*) von Programm- und Datenstrukturen
 - Seiten behalten ihre Bedeutung: Entitäten des virtuellen Speichers

SP

Anhang

B - VI.3 / 39

- à la IA-32, **Reihenschaltung** von Adressumsetzungseinheiten:



- Ausnahmen wie bei segmentierter Seitenadressierung (vgl. S. 47)
 - ein-/mehrstufig ausgelegte (auslagerbare) Seitentabelle, statisches Feld
 - unterstützt die **partielle Mitbenutzung** eines einzelnen Seitenrahmens

- segmentierte Seitentabelle
 - der Segmentdeskriptor listet **Seitendeskriptoren**
 - er adressiert damit indirekt ein dynamisches Seitenfeld
 - alle Seiten darin sind gültig für den betreffenden Prozess
 - folglich auch alle Bytes eines jeweiligen Seitenrahmens
 - Fußbereiche von Seitenrahmen können jedoch brach liegen
- ↔ Seitenverschnitt unvermeidbar
- Verschnitt im Seitenrahmen (bei Reihenschaltung) zu vermeiden, ist für gewöhnlich aufwendig und verstärkt zudem **Interferenz**
 - zwei Seiten ggf. zweier Segmente haben Anteile desselben Seitenrahmens
 - Ersetzung des Inhalts dieses Seitenrahmens kann zwei Prozesse „stören“
 - auch sind Löcher dann kein Vielfaches von Seitenrahmen mehr
- ↔ Verschnitt im Hauptspeicher unvermeidbar: **externe Fragmentierung**

Partielle Mitbenutzung von Seitenrahmen

- Platzierung von Segmentkopf und -fuß in denselben Seitenrahmen F , wobei Kopf- plus Fußlänge die Seitenrahmenlänge (4 KiB) ergibt
 - erste Seite** $P_{[0,4053]}^y$, Kopf in Segment S^y , liegt auf $F_{[42,4095]}^z$
 - letzte Seite** $P_{[0,41]}^x$, Fuß in Segment S^x , liegt auf $F_{[0,41]}^z$
- dabei können S^x und S^y demselben Adressraum (eines Prozesses) oder verschiedenen Adressräumen (zweier Prozesse) angehören
- falls derselbe Adressraum, kann sogar $S^x = S^y$ gelten, d.h., Kopf und Fuß desselben Segments liegen im selben Seitenrahmen
- zu beachten ist, dass sich die **lineare Adresse** des Segmentkopfes auf einen gekachelten logischen/virtuellen Adressraum bezieht
 - diese Adresse ist die im Segmentdeskriptor stehende Segmentbasis und sie muss überhaupt nicht seitenausgerichtet (*page aligned*) sein
 - innerhalb der ersten Seite in diesem Adressraum kann die Segmentbasis um einen Wert $v \in [0, sizeof(P) - 1]$ verschoben sein
 - dieser Wert v entspräche dann der Größe eines zugeteilten Speicherstücks (Segmentfuß) am Anfang eines Seitenrahmens
 - der Rest von $sizeof(P) - v$ Bytes in dem Seitenrahmen entspräche einem Speicherstück, das einem Segmentkopf zugeteilt werden könnte

Seitenadressierung mit Segmentierung

... hat Mehrkosten

- Synergie** der positiven Merkmale beider Adressumsetzungsarten
 - einfache Platzierungsstrategie, da die Speicherezuteilung kachelorientiert und damit immer in Einheiten gleicher Größe geschieht (vgl. [5, S. 18])
 - mehrstufige Seitentabellen fallen weg, da alle Tabellen Segmente und so jeweils in ihrer wirklichen Seitenanzahl beschränkt sind
 - bessere Trennung von Belangen, da Segmente und Seiten bzw. Kacheln verschiedenen Zielen dienen
 - Segment** – Abbildung und Erfassung von **Programmstrukturen**
 - Seite** – Optimierung von **Systemfunktionen** der Speicherverwaltung
 - Segmentierung unterstützt insbesondere **dynamisches Binden**
 - die „Bindlinge“ sind symbolisch bezeichnete, **physische Segmente**
 - d.h., Programmstrukturen, Adressräume (Seitentabellen), ..., Dateien
 - ein Seg. dagegen als „Seitenfeld“ zu begreifen, ist etwas anderes
 - also Seiten zu Text-, Daten- oder Stapelsegmenten zusammenstellen⁷
 - Programmstrukturen lassen sich damit im System nicht wirklich abbilden
- ⁷So, wie es von UNIX-ähnlichen Betriebssystemen (inkl. Linux) bekannt und überhaupt nach Multics [8] eben nur noch gang und gäbe ist.

Anhang

Pfadnamen

Verknüpfungen überarbeitet

Gegenüberstellung

- feste Verknüpfung
 - nicht zu Verzeichnissen oder Dateien anderer Dateisysteme
 - überdauert die Umplatzierung einer Datei
 - bleibt bestehen, nur solange es noch Referenzen gibt
 - hat keinen eigenen Indexknoten
- symbolische Verknüpfung
 - auch zu Verzeichnissen und Dateien anderer Dateisysteme
 - ungültig nach Umplatzierung einer Datei
 - bleibt bestehen, auch wenn es keine Referenzen gibt
 - hat einen eigenen Indexknoten

„Nicht alles, was glänzt, ist Gold“ (Shakespeare, 1600)

```
wosch@lorien 1$ mkdir -p Laptop/fai43w; cd Laptop; ln -s fai43w lorien; ls -l
total 8
drwxr-xr-x  2 wosch  wosch  68 29 Apr 13:01 fai43w
lrwxr-xr-x  1 wosch  wosch   7 29 Apr 13:02 lorien -> fai43w
wosch@lorien 2$ cd lorien
wosch@lorien 3$ cd ..; rmdir fai43w; cd lorien
-bash: cd: lorien: No such file or directory
wosch@lorien 4$ ls -l
total 8
lrwxr-xr-x  1 wosch  wosch   7 29 Apr 13:02 lorien -> fai43w
wosch@lorien 5$ mkdir fai43w; cd lorien
wosch@lorien 6$ ln -s Fata\ Morgana SP1
```

SP

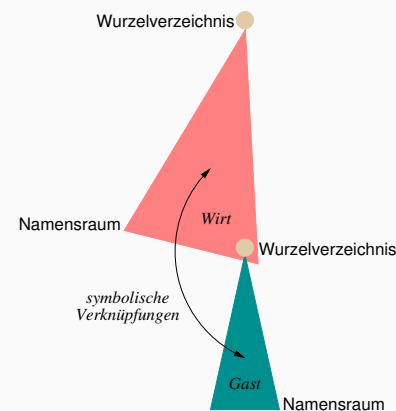
Anhang

B - VI.3 / 44

Namensraumverbindung

Dateisystem ein-/aushängen

- Namensräume können an einem **Befestigungspunkt** (*mount point*) miteinander verbunden werden
 - ohne damit jedoch eine Erweiterung des Namensraums vorzunehmen
- der Punkt ist ein **Verzeichnis** im Wirtsnamensraum
 - Einhängen (*mount*) blendet den Inhalt des Wirtsverzeichnisses aus
 - der Wurzelverzeichnisinhalt des Gastnamensraums erscheint
 - Aushängen (*unmount*) macht den alten Verzeichnisinhalt sichtbar
- ein **Pfadname** kann dann Wirts- und Gastnamensraum abdecken
 - einerseits streng hierarchietreu, von oben nach unten (*top down*)
 - andererseits quer verweisend, durch **symbolische Verknüpfung**



Anhang

Internetadressen

SP

Anhang

B - VI.3 / 45

Definition (Nummerung (DIN 6763))

Bilden, Erteilen, Verwalten und Anwenden von Nummern.

- die **Eindeutigkeit** der Speicher- und Standortadressen ist begrenzt
 - Indexknotennummern durch den **Namensraum** ihres Dateisystems
 - reale, logische und virtuelle Adressen durch ihren (Prozess-) **Adressraum**
 - Prozesskennungen durch den **Nummernraum** ihres Rechensystem
- die **Internetprotokolladresse** (IP-Adresse) ist weltweit eindeutig
 - IPv4** ■ 32 Bit: vier Blöcke zu jeweils drei Dezimalstellen (8 Bit)
 - IPv6** ■ 128 Bit: acht Blöcke zu jeweils vier Hexadezimalstellen (16 Bit)
 - vom ARP (*address resolution protocol*) aufgelöst und umgewandelt in die **Netzwerkadapteradresse** (MAC, *media access control*)
 - rechnerlokal wird das Adressenpaar in der ARP-Tabelle hinterlegt
- verallgemeinerte Form ist der/die **URL** (*universal resource locator*)
 - neben Adressinformationen ist zusätzlich die **Zugriffsmethode** enthalten, die durch `://` von den schemaspezifischen Angaben getrennt ist
 - die Internetadresse identifiziert dabei den **Wirt** (*host*) einer Webanfrage