

Betriebssysteme (BS)

VL 12 – Gerätetreiber

Daniel Lohmann

Lehrstuhl für Informatik 4

Verteilte Systeme und Betriebssysteme

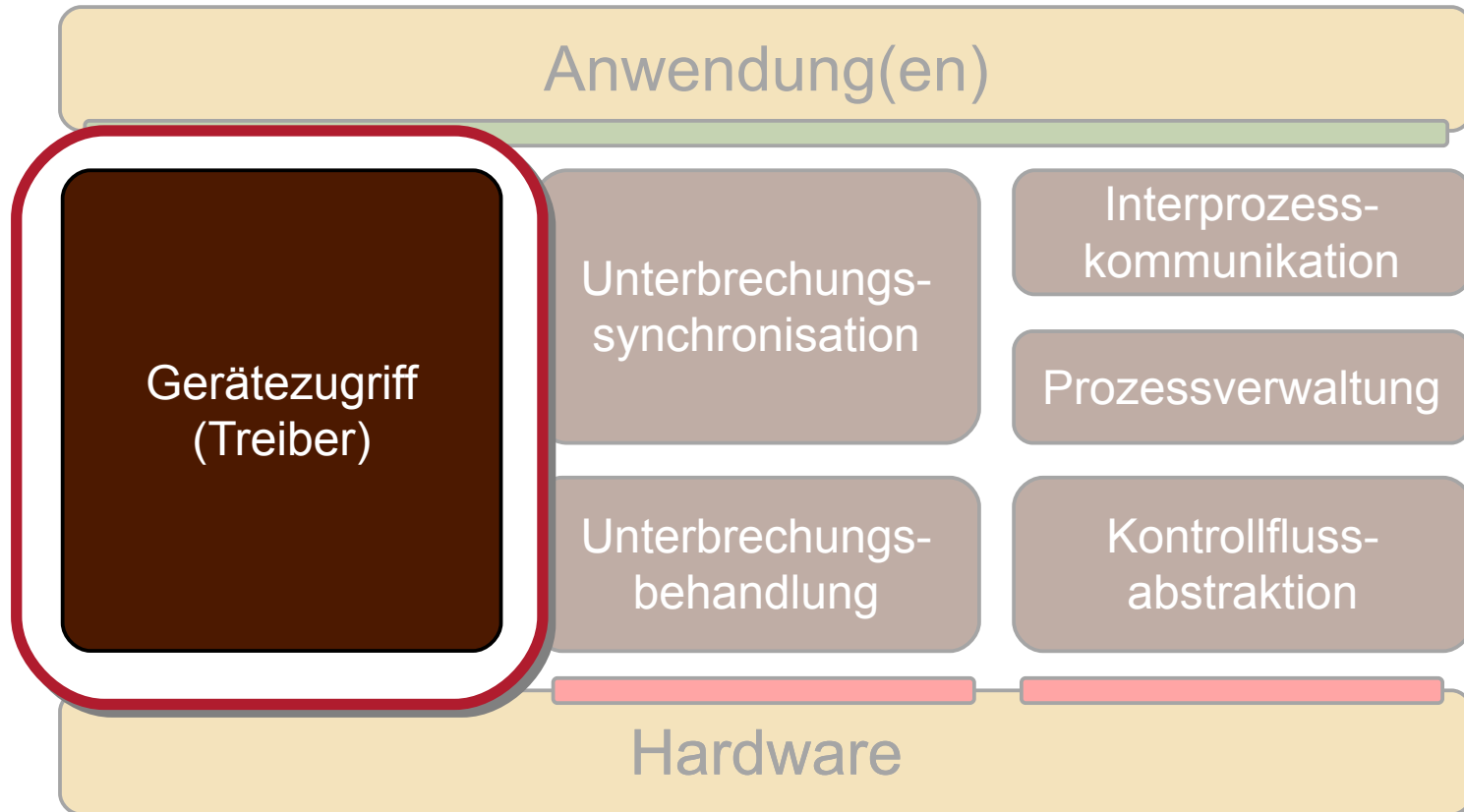
Friedrich-Alexander-Universität

Erlangen Nürnberg

WS 10 – 26. Januar 2011



Überblick: Einordnung dieser VL



Betriebssystementwicklung



Agenda

- Bedeutung von Gerätetreibern
- Anforderungen an Betriebssysteme
 - Namensraum
 - E/A Operationen
 - gerätespezifische Konfigurierung
 - Lösungen in Windows und Linux
- Struktur des E/A Systems
 - Kapselung von Treibern und Treiber-Infrastruktur
 - Treibermodell
- Gerätetreiber und -umgebung
 - Anforderungen
 - Lösungen in Windows und Linux
- Zusammenfassung



Agenda

- **Bedeutung von Gerätetreibern**
- Anforderungen an Betriebssysteme
 - Namensraum
 - E/A Operationen
 - gerätespezifische Konfigurierung
 - Lösungen in Windows und Linux
- Struktur des E/A Systems
 - Kapselung von Treibern und Treiber-Infrastruktur
 - Treibermodell
- Gerätetreiber und -umgebung
 - Anforderungen
 - Lösungen in Windows und Linux
- Zusammenfassung



Bedeutung von Gerätetreibern (1)

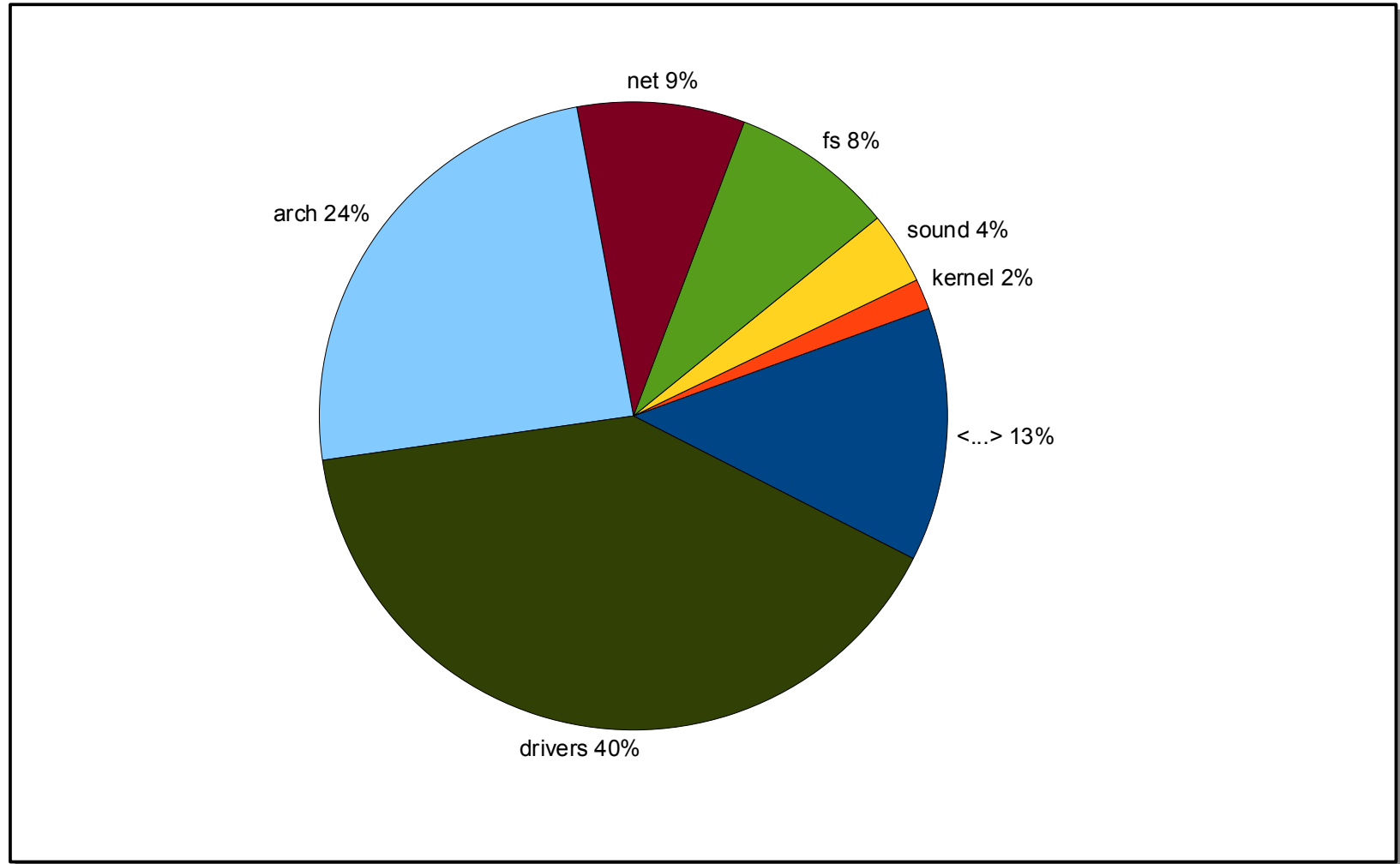
■ Anteil an Treibercode im (halbwegs) aktuellen Linux

```
/usr/src/linux-2.6.32.2$ du -k --max-depth=1 . | sort -n
60      ./usr
96      ./samples
372     ./virt
472     ./init
13140   ./<...>
4568    ./mm
5292    ./crypto
5864    ./firmware
9516    ./kernel
12916   ./debian
16064   ./Documentation
19876   ./include
22488   ./sound
50680   ./fs
52052   ./net
147012  ./arch
242820 ./drivers
```



Bedeutung von Gerätetreibern (1)

- Anteil an Treibercode im (halbwegs) aktuellen Linux



Bedeutung von Gerätetreibern (2)

- in Linux (2.6.32) ist der Treibercode etwa **25 mal so groß** wie der Code des Linux Kernels
 - und wächst rasant – bei V2.6.11 war es "nur" 10 mal mehr
 - Windows unterstützt noch deutlich mehr Geräte ...
 - Treiberunterstützung ist für die Akzeptanz eines Betriebssystems ein **entscheidender Faktor**
 - warum sonst wäre Linux weiter verbreitet als andere freie UNIXe?
 - in Gerätetreibern steckt eine erhebliche Arbeitsleistung
- der Entwurf des E/A Subsystems erfordert viel Geschick
- möglichst viele wiederverwendbare Funktionen in eine **Treiber-Infrastruktur** verlagern
 - klare Vorgaben bzgl. Treiberstruktur, -verhalten und -schnittstellen, d.h. ein **Treibermodell**



Agenda

- Bedeutung von Gerätetreibern
- **Anforderungen an Betriebssysteme**
 - Namensraum
 - E/A Operationen
 - gerätespezifische Konfigurierung
 - **Lösungen in Windows und Linux**
- Struktur des E/A Systems
 - Kapselung von Treibern und Treiber-Infrastruktur
 - Treibermodell
- Gerätetreiber und -umgebung
 - Anforderungen
 - Lösungen in Windows und Linux
- Zusammenfassung



Anforderungen an Betriebssysteme

- Ressourcenschonender Umgang mit Geräten
 - schnell arbeiten
 - Energie sparen
 - Speicher, *Ports* und *Interrupt*-Vektoren sparen
 - Aktivierung und Deaktivierung zur Laufzeit
 - Generische *Power Management* Schnittstelle
- Einheitlicher Zugriffsmechanismus
 - **minimaler Satz von Operationen** für verschiedene Gerätetypen
 - **mächtige Operationen** für vielfältige Typen von Anwendungen
- auch gerätespezifische Zugriffsfunktionen



Linux – einheitlicher Zugriff (1)

```
echo "Hallo, Welt" > /dev/ttyS0
```

- Geräte sind über Namen im Dateisystem ansprechbar

- Vorteile:

- Systemaufrufe für Dateizugriff (open, read, write, close) können auch für sonstige E/A verwendet werden
- Zugriffsrechte können über die Mechanismen des Dateisystems gesteuert werden
- Anwendungen sehen keinen Unterschied zwischen Dateien und "Geräte-dateien"

- Probleme:

- blockorientierte Geräte müssen in Byte-Strom verwandelt werden
- manche Geräte lassen sich nur schwer in dieses Schema pressen
 - Beispiel: 3D Graphikkarte



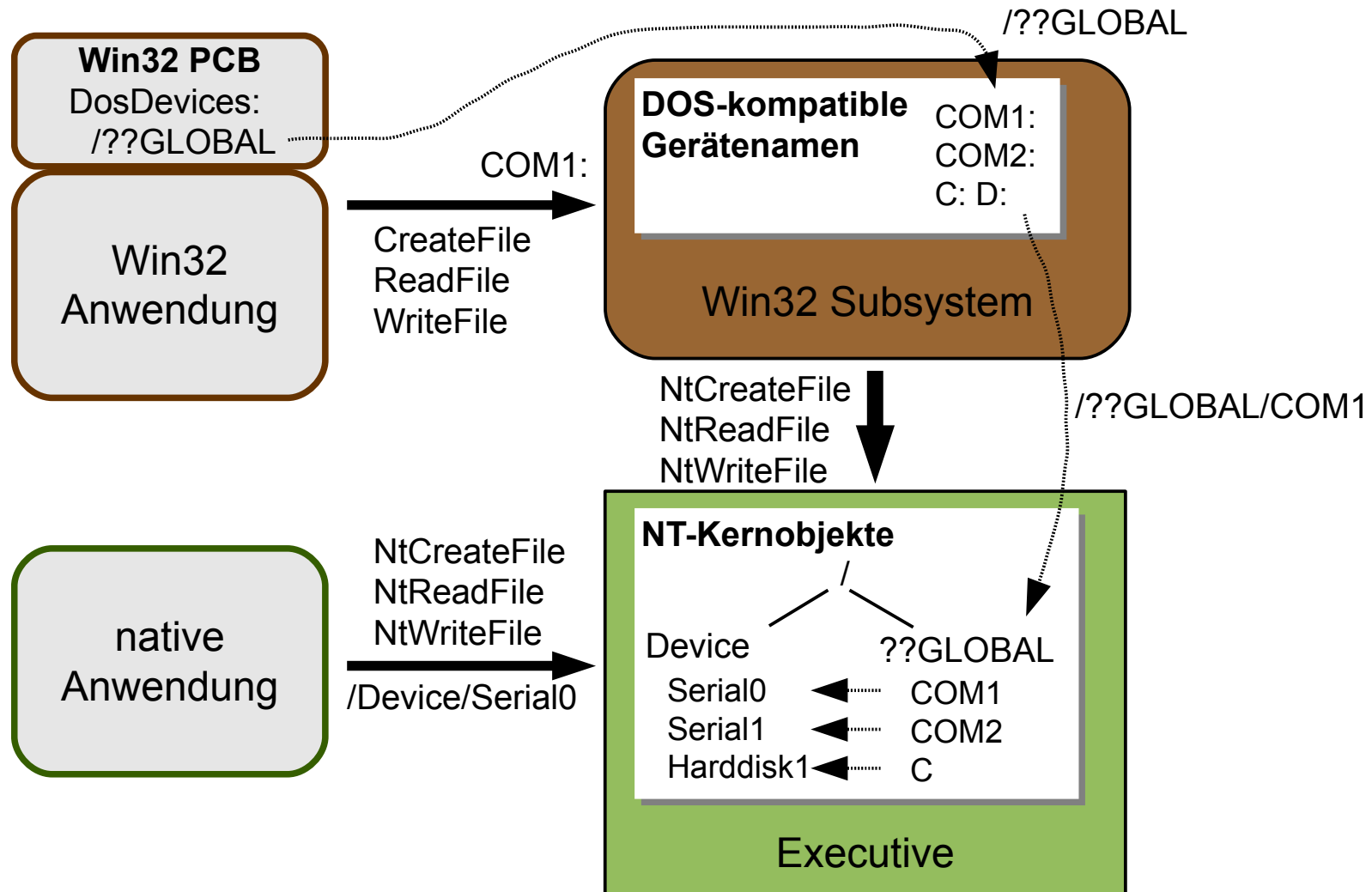
Linux – einheitlicher Zugriff (2)

- blockierende Ein-/Ausgabe (Normalfall)
 - `read`: Prozess blockiert bis die angeforderten Daten da sind
 - `write`: Prozess blockiert bis schreiben möglich ist
- nicht-blockierende Ein-/Ausgabe
 - `open/read/write` mit dem Zusatz-Flag `O_NONBLOCK`
 - statt zu blockieren kehren `read` und `write` so mit `-EAGAIN` zurück
 - der Aufrufer kann/muss die Operation später wiederholen
- nebenläufige Ein-/Ausgabe
 - neu: `aio_(read|write|...)` (POSIX 1003.1-2003)
 - indirekt mittels Kindprozess (`fork/join`)
 - `select`, `poll` Systemaufrufe



Windows – einheitlicher Zugriff (1)

■ Geräte sind Kern-Objekte der Executive



Windows – einheitlicher Zugriff (2)

■ synchrone oder asynchrone Ein-/Ausgabe

```
BOOL ReadFile(  
    HANDLE hFile,  
    LPVOID lpBuffer,  
    DWORD nNumberOfBytesToRead,  
    LPDWORD lpNumberOfBytesRead,  
    LPOVERLAPPED lpOverlapped  
);
```

NULL: synchrones
Lesen



```
BOOL GetOverlappedResult(  
    HANDLE hFile,  
    LPOVERLAPPED lpOverlapped,  
    LPDWORD lpNumberOfBytesTransferred,  
    BOOL bWait  
);
```

true: auf Ende warten
false: Status erfragen



■ weitere Möglichkeiten:

- E/A mit *Timeout*
- WaitForMultipleObjects – warten auf 1–N Kernobjekte
 - Datei-Handles, Semaphore, Mutex, Thread-Handle, ...
- I/O Completion Ports
 - Aktivierung eines wartenden Threads nach I/O Operation



Linux – gerätespez. Funktionen (1)

- spezielle Geräteeigenschaften werden (klassisch) über **ioctl** angesprochen:

```
IOCTL(2)                Linux Programmer's Manual                IOCTL(2)

NAME
    ioctl - control device

SYNOPSIS
    #include <sys/ioctl.h>

    int ioctl(int d, int request, ...);
```

- Schnittstelle generisch und Semantik gerätespezifisch:

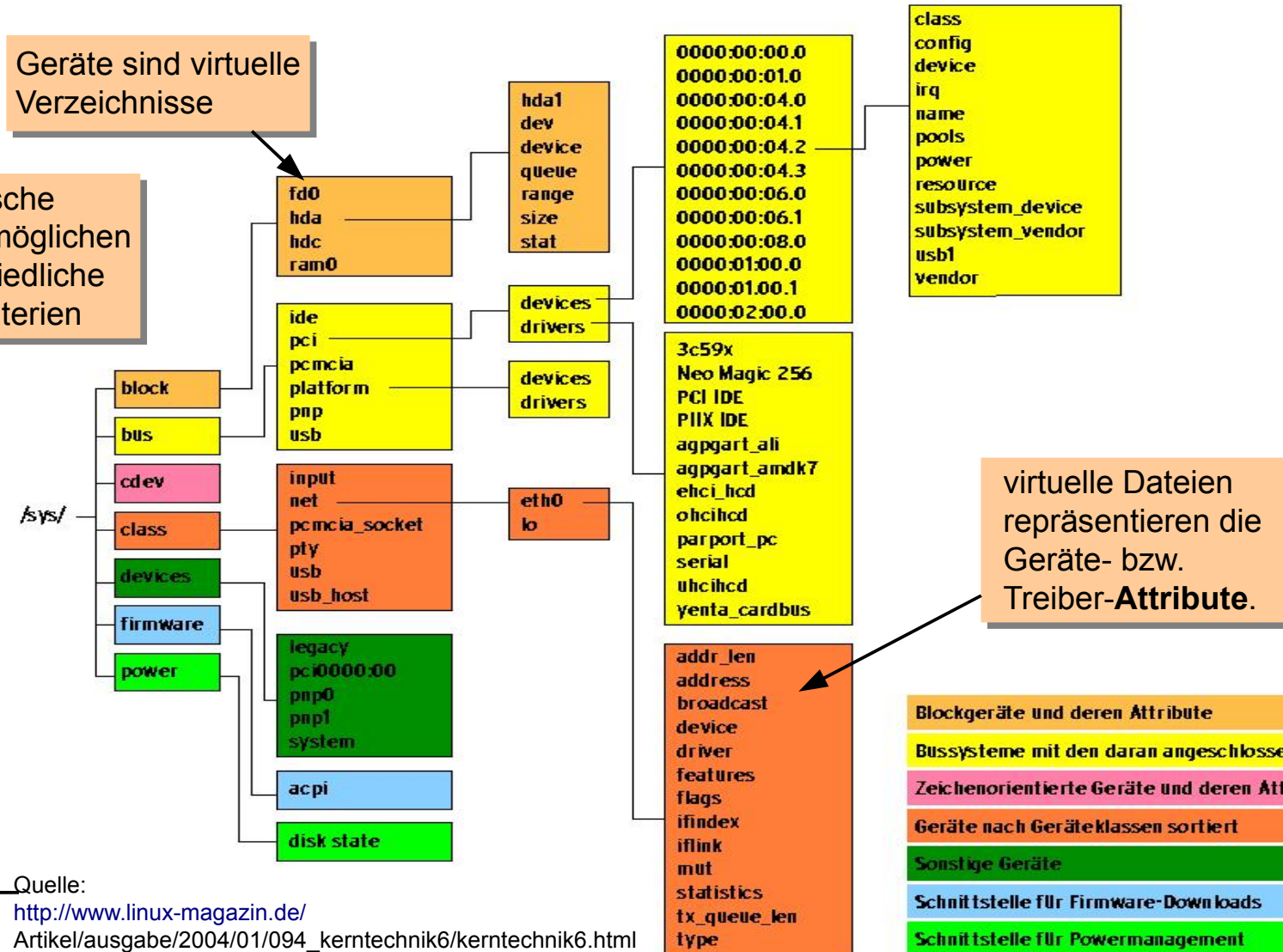
CONFORMING TO

No single standard. Arguments, returns, and semantics of `ioctl(2)` vary according to the device driver in question (the call is used as a catch-all for operations that don't cleanly fit the Unix stream I/O model). The `ioctl` function call appeared in Version 7 AT&T Unix.



Linux – gerätespez. Funktionen (2)

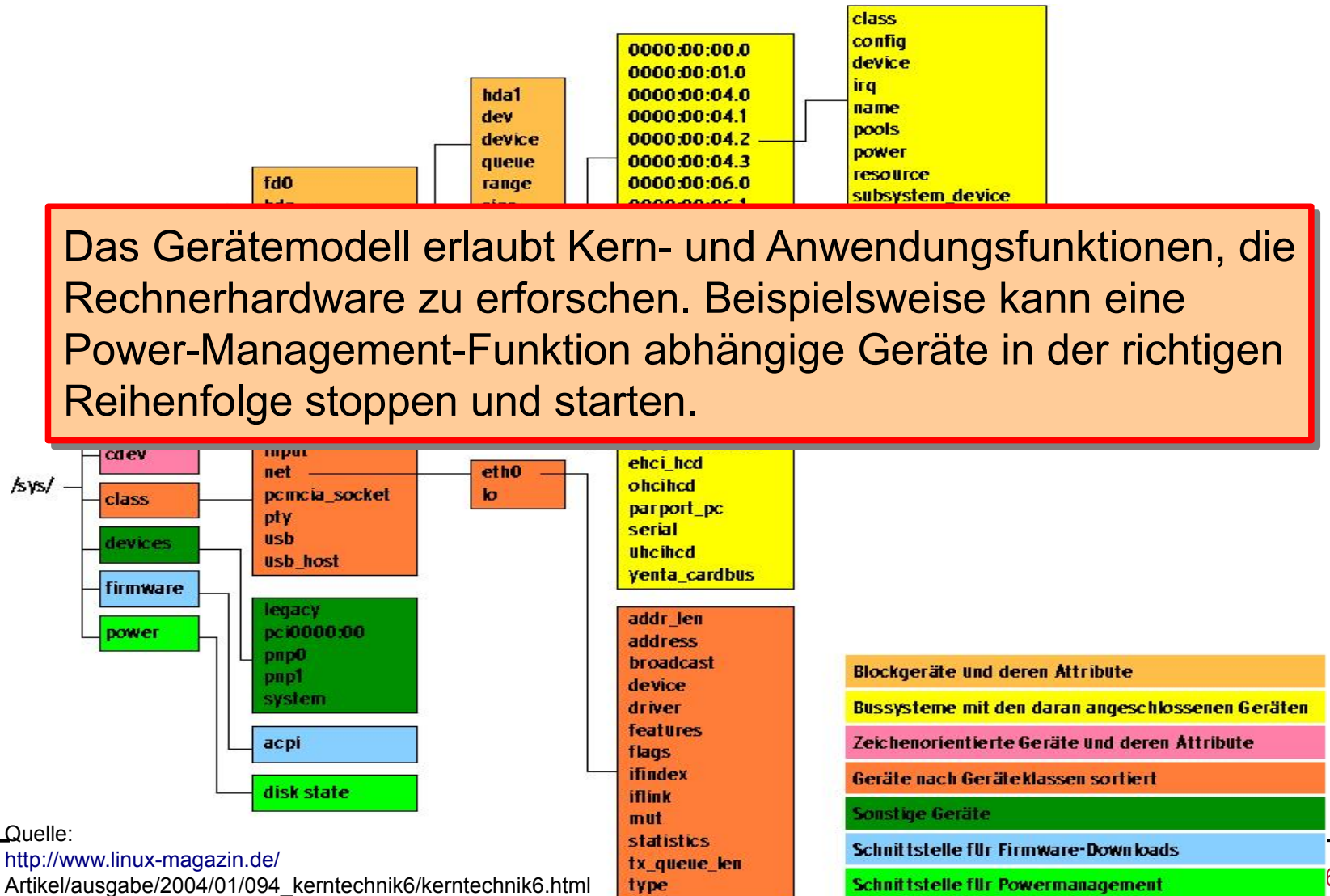
■ Linux 2.6 – das **Gerätemodell** im **sys-Dateisystem**



Linux – gerätespez. Funktionen (2)

■ Linux 2.6 – das Gerätemodell im sys-Dateisystem

Das Gerätemodell erlaubt Kern- und Anwendungsfunktionen, die Rechnerhardware zu erforschen. Beispielsweise kann eine Power-Management-Funktion abhängige Geräte in der richtigen Reihenfolge stoppen und starten.



Quelle:

<http://www.linux-magazin.de/>

Artikel/ausgabe/2004/01/094_kerntechnik6/kerntechnik6.html

Windows – gerätespez. Funktionen

■ **DeviceIoControl** entspricht dem UNIX ioctl:

```
BOOL DeviceIoControl(  
    HANDLE hDevice,  
    DWORD dwIoControlCode,  
    LPVOID lpInBuffer,  
    DWORD nInBufferSize,  
    LPVOID lpOutBuffer,  
    DWORD nOutBufferSize,  
    LPDWORD lpBytesReturned,  
    LPOVERLAPPED lpOverlapped  
);
```

Kommunikation über
untypisierte Puffer
direkt
mit dem Treiber

auch asynchron
möglich

■ und was sonst?

- alle Geräte und Treiber werden durch Kern-Objekte repräsentiert
 - spezielle Systemaufrufe gestatten das Erforschen dieses Namensraums
- statische Konfigurierung erfolgt über die Registry
- dynamische Konfigurierung erfolgt z.B. über WMI
 - *Windows Management Instrumentation*



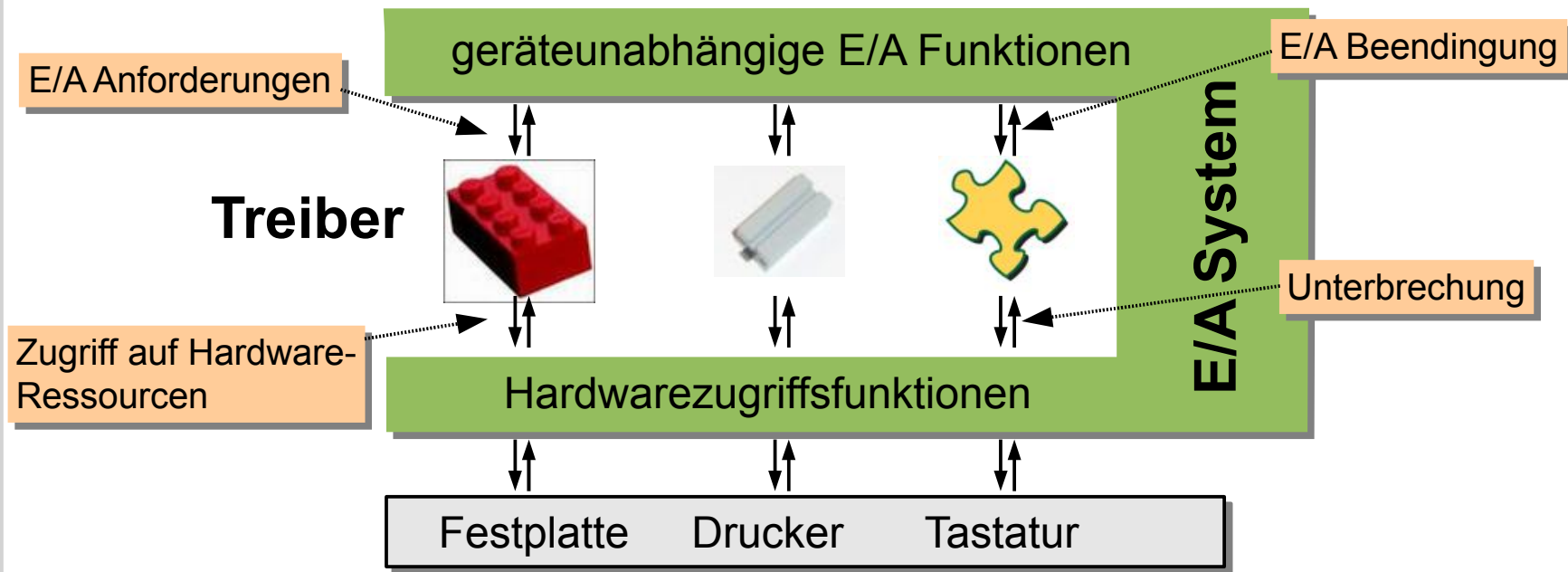
Agenda

- Bedeutung von Gerätetreibern
- Anforderungen an Betriebssysteme
 - Namensraum
 - E/A Operationen
 - gerätespezifische Konfigurierung
 - Lösungen in Windows und Linux
- **Struktur des E/A Systems**
 - **Kapselung von Treibern und Treiber-Infrastruktur**
 - **Treibermodell**
- **Gerätetreiber und -umgebung**
 - **Anforderungen**
 - **Lösungen in Windows und Linux**
- Zusammenfassung



Struktur des E/A Systems (1)

■ Treiber mit unterschiedlicher Schnittstelle ...

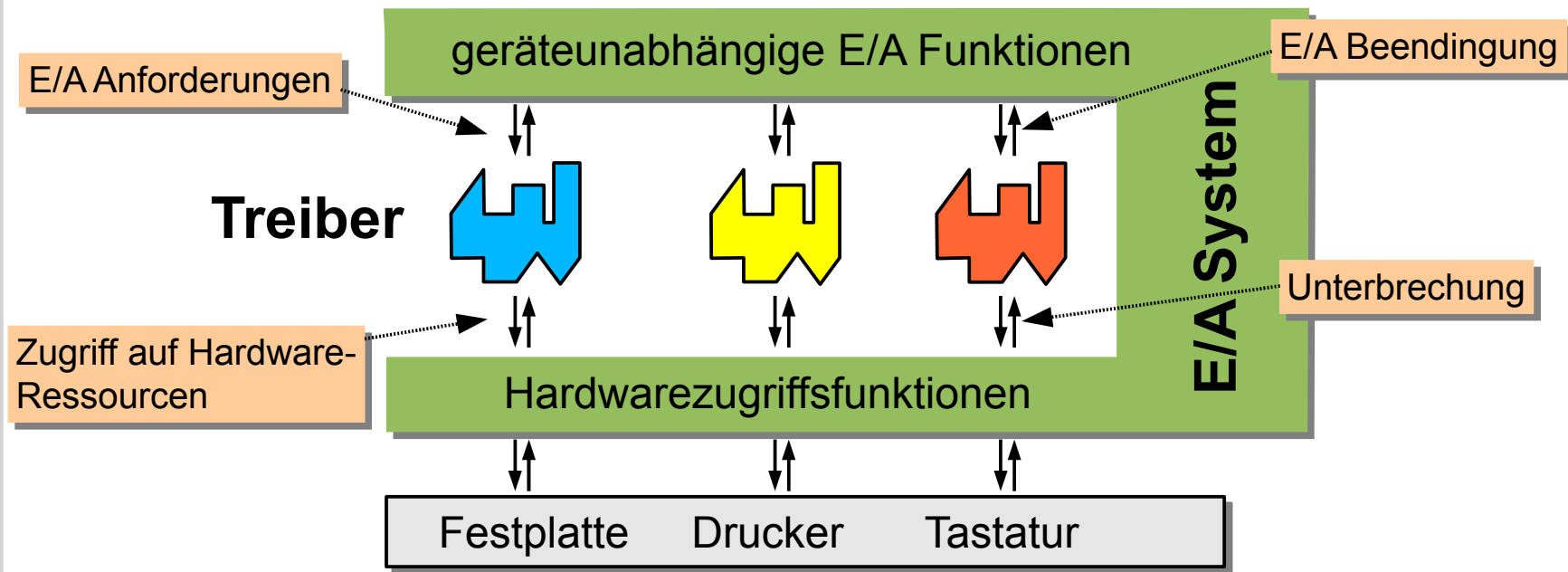


- erlauben die volle Ausnutzung aller Geräteeigenschaften
- erfordern eine Erweiterung des E/A Systems für jeden Treiber
 - enormer Aufwand bei der heutigen Gerätevielfalt
 - unrealistisch, da erst das BS da ist und dann erst die Treiber entstehen



Struktur des E/A Systems (2)

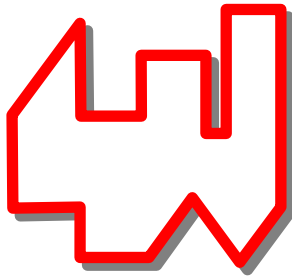
■ Treiber mit uniformer Schnittstelle ...



- ermöglichen ein (dynamisch) erweiterbares E/A System
- erlauben flexibles "Stapeln" von Gerätetreibern
 - virtuelle Geräte
 - Filter



Das Treibermodell umfasst ...



"detaillierte Vorgaben für die Treiber-Entwicklung"

- die Liste der erwarteten Treiber-Funktionen
- Festlegung optionaler und obligatorischer Funktionen
- die Funktionen, die ein Treiber nutzen darf
- Interaktionsprotokolle
- Synchronisationsschema und Funktionen
- Festlegung von **Treiberklassen** falls mehrere Schnittstellentypen unvermeidbar sind



Anforderungen an Gerätetreiber

- Zuordnung zu Gerätedateien erlauben
- Verwaltung mehrerer Geräteinstanzen
- Operationen:
 - Hardware-Erkennung
 - Initialisierung und Beendigung
 - Lesen und Schreiben von Daten
 - ggf. auch *Scatter/Gather*
 - Steueroperationen und Gerätestatus
 - z.B. über `ioctl` oder virtuelles Dateisystem
 - Energieverwaltung
- intern zu bewältigen:
 - Synchronisation
 - Pufferung
 - Anforderung benötigter Systemressourcen



Linux – Treibergerüst: Registrierung

```
MODULE_AUTHOR("B.S. Student");
MODULE_LICENSE("GPL");
MODULE_DESCRIPTION("Dummy Treiber.");
MODULE_SUPPORTED_DEVICE("none");

static struct file_operations fops;
// ... Initialisierung von fops (Funktionszeiger)

static int __init mod_init(void){
    if(register_chrdev(240,"DummyDriver",&fops)==0)
        return 0; // Treiber erfolgreich angemeldet
    return -EIO; // Anmeldung beim Kernel fehlgeschlagen
}

static void __exit mod_exit(void){
    unregister_chrdev(240,"DummyDriver");
}

module_init( mod_init );
module_exit( mod_exit );
```

Metainformation,
anzufordern mit
'modinfo'

Registrierung
für das char-
Device mit der
**Major- Number
240**

mod_init und
mod_exit
werden beim
Laden bzw.
Entladen
ausgeführt.



Linux – Treibergerüst: Operationen

```
static char hello_world[]="Hello World\n";

static int dummy_open(struct inode *geraete_datei,
    struct file *instanz) {
    printk("driver_open called\n"); return 0;
}

static int dummy_close(struct inode *geraete_datei,
    struct file *instanz) {
    printk("driver_close called\n"); return 0;
}

static ssize_t dummy_read(struct file *instanz,
    char *user, size_t count, loff_t *offset ) {
    int not_copied, to_copy;
    to_copy = strlen(hello_world)+1;
    if( to_copy > count ) to_copy = count;
    not_copied=copy_to_user(user,hello_world,to_copy);
    return to_copy-not_copied;
}

static struct file_operations fops = {
    .owner  =THIS_MODULE,
    .open   =dummy_open,
    .release=dummy_close,
    .read   =dummy_read,
};
```

die Treiberoperationen entsprechen den normalen Dateioperationen

in diesem Beispiel machen open und close nur Debugging-Ausgaben

mit **copy_to_user** und **copy_from_user** kann man Daten zwischen Kern- und Benutzer-adressraum austauschen

es gibt noch wesentlich mehr Operationen, sie sind jedoch größtenteils optional



Linux – Treibergerüst: Operationen

// Struktur zur Einbindung des Treibers in das virtuelle Dateisystem

```
struct file_operations {
    struct module *owner;
    loff_t (*llseek) (struct file *, loff_t, int);
    ssize_t (*read) (struct file *, char __user *, size_t, loff_t *);
    ssize_t (*aio_read) (struct kiocb *, char __user *, size_t, loff_t);
    ssize_t (*write) (struct file *, const char __user *, size_t, loff_t *);
    ssize_t (*aio_write) (struct kiocb *, const char __user *, size_t, loff_t);
    int (*readdir) (struct file *, void *, filldir_t);
    unsigned int (*poll) (struct file *, struct poll_table_struct *);
    int (*ioctl) (struct inode *, struct file *, unsigned int, unsigned long);
    int (*mmap) (struct file *, struct vm_area_struct *);
    int (*open) (struct inode *, struct file *);
    int (*flush) (struct file *);
    int (*release) (struct inode *, struct file *);
    int (*fsync) (struct file *, struct dentry *, int datasync);
    int (*aio_fsync) (struct kiocb *, int datasync);
    int (*fasync) (int, struct file *, int);
    int (*lock) (struct file *, int, struct file_lock *);
    ssize_t (*readv) (struct file *, const struct iovec *, unsigned long, loff_t *);
    ssize_t (*writev) (struct file *, const struct iovec *, unsigned long, loff_t *);
    ssize_t (*sendfile) (struct file *, loff_t *, size_t, read_actor_t, void __user *);
    ssize_t (*sendpage) (struct file *, struct page *, int, size_t, loff_t *, int);
    unsigned long (*get_unmapped_area)(struct file *, unsigned long,
        unsigned long, unsigned long, unsigned long);
};
```



Linux - Treiber-Infrastruktur

- Ressourcen reservieren
 - Speicher, Ports, IRQ-Vektoren, DMA Kanäle
- Hardwarezugriff
 - Ports und Speicherblöcke lesen und schreiben
- Speicher dynamisch anfordern
- Blockieren und Wecken von Prozessen im Treiber
 - waitqueue
- Interrupt-Handler anbinden
 - low-level
 - Tasklets für länger dauernde Aktivitäten
- Spezielle APIs für verschiedene Treiberklassen
 - Zeichenorientierte Geräte, Blockgeräte, USB-Geräte, Netzwerktreiber
- Einbindung in das proc oder sys Dateisystem

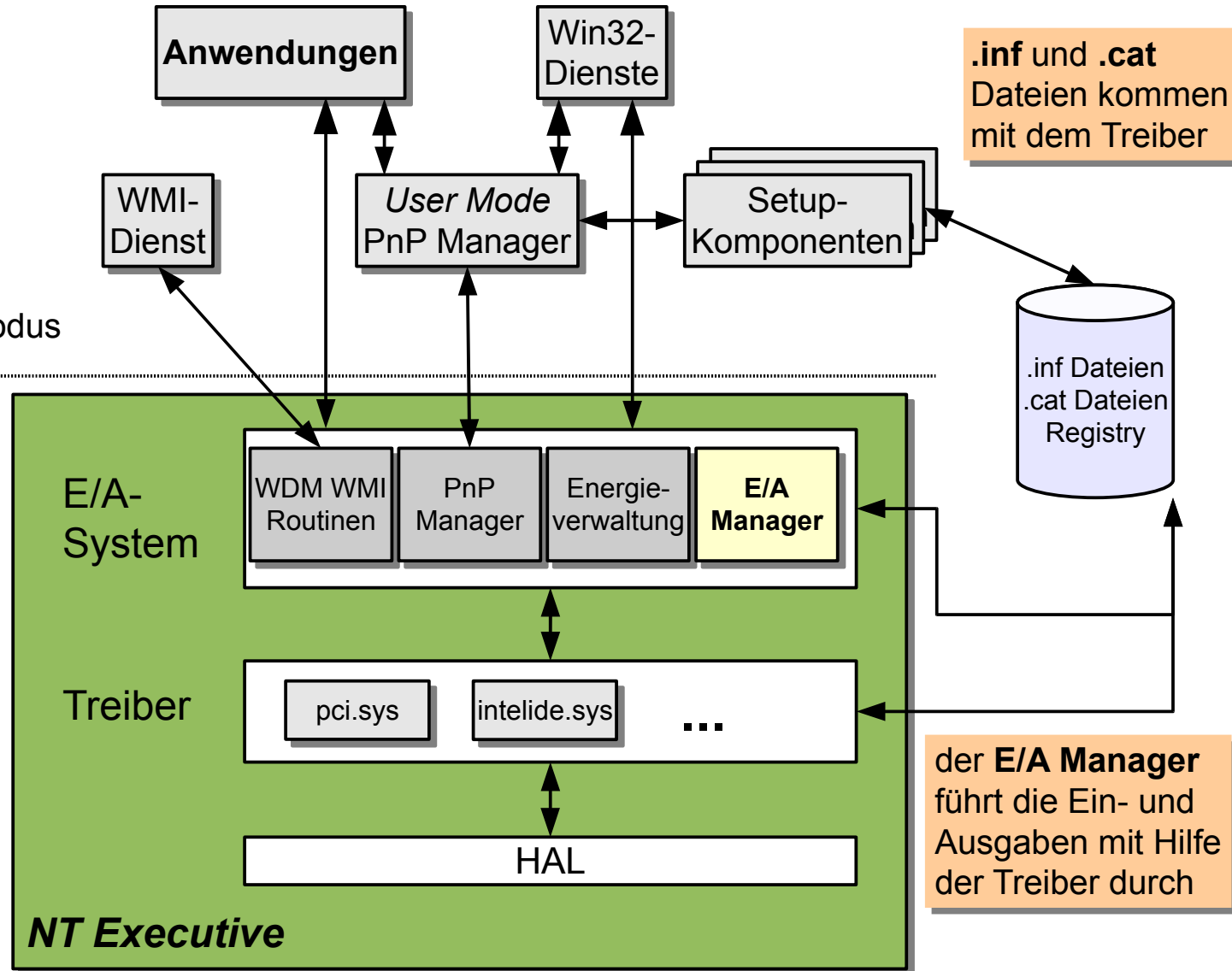


Windows – E/A System

WMI (ab Win2K)
dient der Ereignis-
und Leistungsüber-
wachung

der **PnP Manager**
erkennt neue Geräte
und fragt ggf. mit
Hilfe des User-Mode
Teils nach einem
Treiber.

HAL ist die
Hardware-
Abstraktions-
schicht



der **E/A Manager**
führt die Ein- und
Ausgaben mit Hilfe
der Treiber durch



Windows – Treiberstruktur

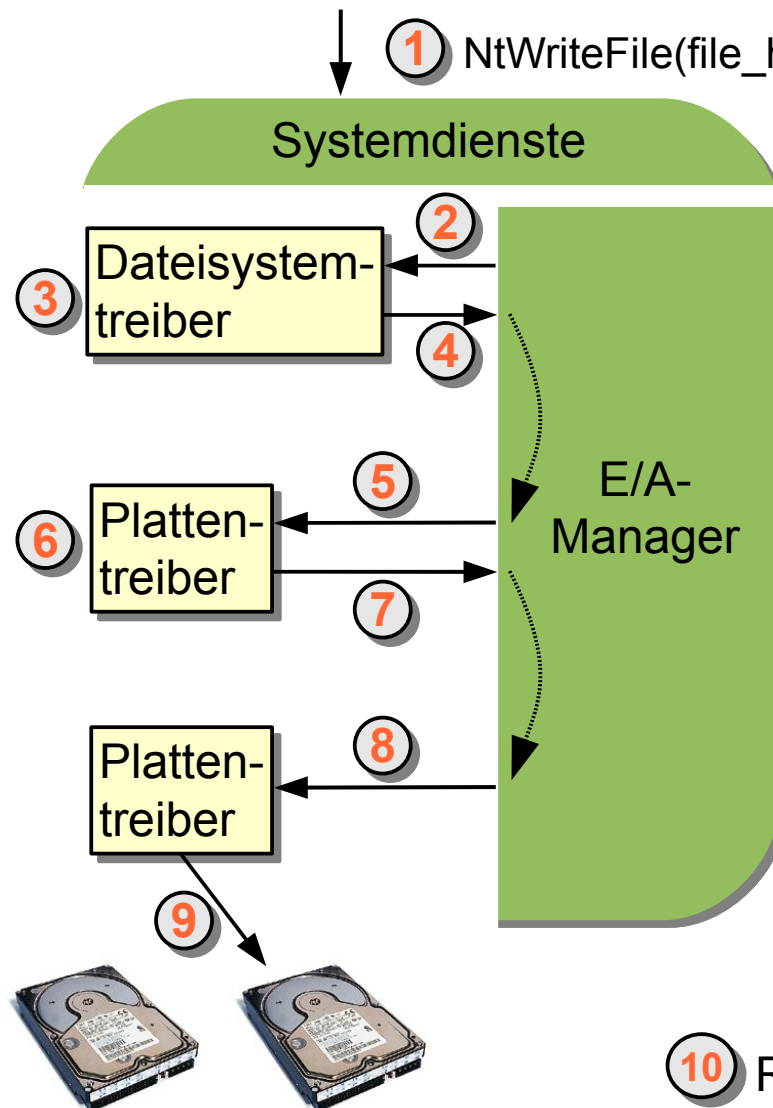
Das E/A-System steuert den Treiber mit Hilfe der ...

- Initialisierungsroutine/Entladeroutine
 - wird nach/vor dem Laden/Entladen des Treibers ausgeführt
- Routine zum Hinzufügen von Geräten
 - PnP Manager hat ein neues Gerät für den Treiber
- "Verteilerrouinen"
 - Öffnen, Schließen, Lesen, Schreiben und gerätespezifische Oper.
- Interrupt Service Routine
 - wird von der zentralen Interrupt-Verteilungsroutine aufgerufen
- DPC-Routine
 - "Epilog" der Unterbrechungsbehandlung
- E/A-Komplettierungs- und -Abbruchroutine
 - Informationen über den Ausgang weitergeleiteter E/A-Aufträge

...



Windows – typischer E/A-Ablauf



- ① über das Dateiojekt wird das Dateisystem und der Treiber gefunden
- ② Daten an bestimmten Byte-Offset in Datei schreiben
- ③ Position auf Datenträger berechnen
- ④ E/A Auftrag weitergeben
- ⑤ Daten an best. Byte Offset auf Datenträger schreiben
- ⑥ Position in Plattenr. und Offset umrechnen
- ⑦ E/A Auftrag weitergeben
- ⑧ Daten an best. Byte Offset auf Platte 2 schreiben
- ⑨ Phys. Block berechnen und Operation initiieren

⑩ Rückkehr zum Anwendungsprozess!

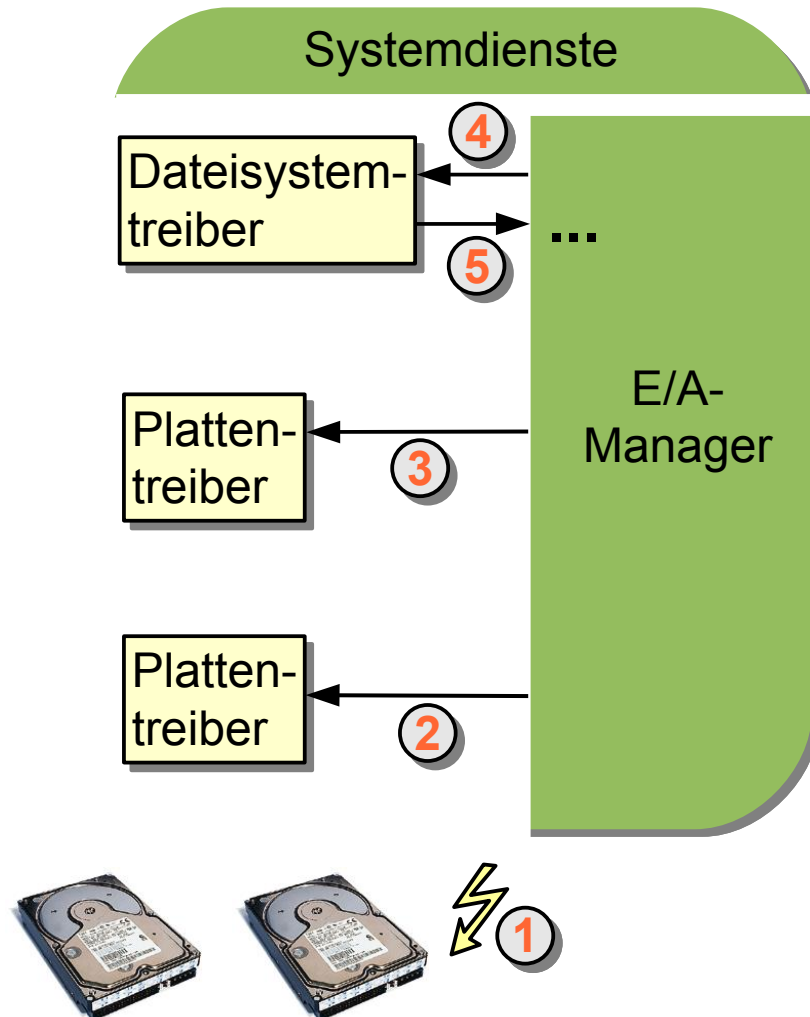


Windows – typischer E/A-Ablauf

... Fortsetzung (nachdem die Platte fertig geworden ist)

- ① Plattencontroller signalisiert per Unterbrechung den Abschluss der Operation
- ② Aufruf der ISR bzw. des DPC
- ③ Aufruf der Komplettierungs-routine
- ④ Aufruf der Komplettierungs-routine
- ⑤ weiterer (Teil-)Auftrag an den Datenträgertreiber

Wo merkt sich das System den Zustand einer E/A-Operation?



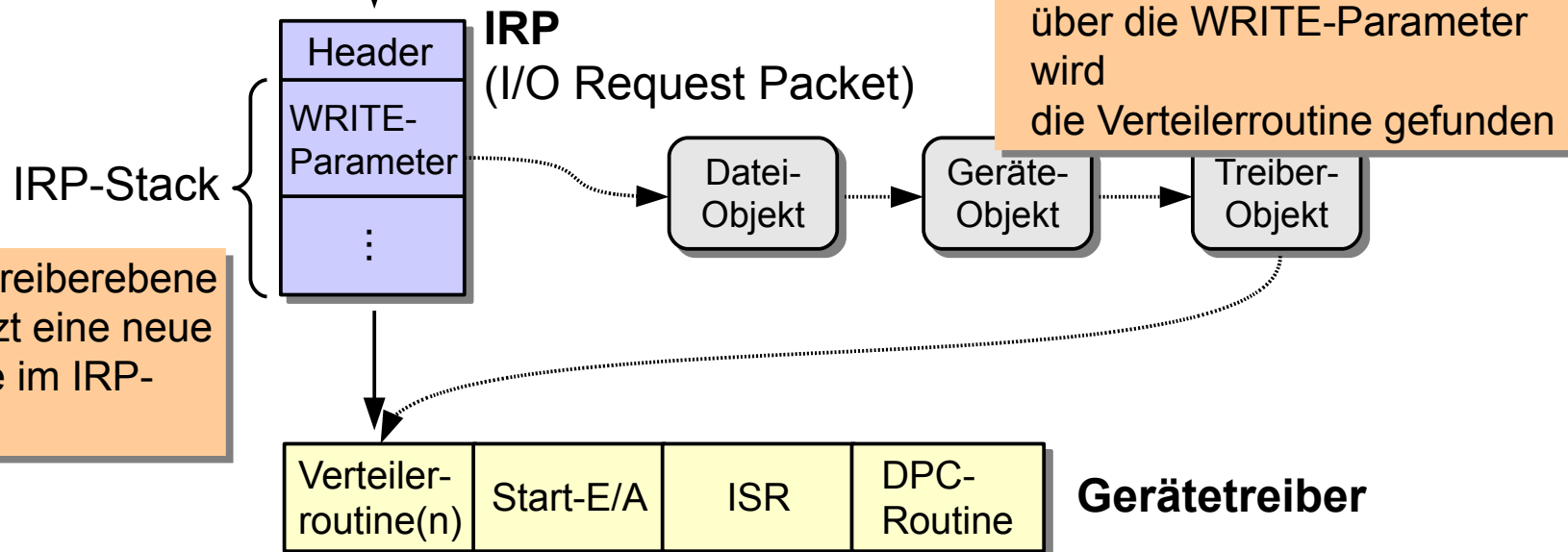
Windows – E/A-Anforderungspaket

NtWriteFile(file_handle, char_buffer)

Systemdienste

E/A-Manager

der E/A-Manager erstellt und initialisiert
für jede E/A Operation ein IRP



Agenda

- Bedeutung von Gerätetreibern
- Anforderungen an Betriebssysteme
 - Namensraum
 - E/A Operationen
 - gerätespezifische Konfigurierung
 - Lösungen in Windows und Linux
- Struktur des E/A Systems
 - Kapselung von Treibern und Treiber-Infrastruktur
 - Treibermodell
- Gerätetreiber und -umgebung
 - Anforderungen
 - Lösungen in Windows und Linux
- **Zusammenfassung**



Zusammenfassung

- ein guter Entwurf des E/A Subsystems ist enorm wichtig
 - E/A-Schnittstelle
 - Treibermodell
 - Treiberinfrastruktur
 - Schnittstellen sollten lange stabil bleiben
- Ziel ist die Aufwandsminimierung bei der Treibererstellung
- Windows besitzt ein ausgereiftes E/A System
 - "alles ist ein Kern-Objekt"
 - asynchrone E/A Operationen sind die Basis
- Linux zieht rasant nach
 - "alles ist eine Datei"
 - sysfs und asynchrone E/A sind relativ neu (seit 2.6)

