

Betriebssystembau (BSB)

VL 12 – Gerätetreiber

Alexander Krause

Lehrstuhl für Informatik 12 – Arbeitsgruppe Systemsoftware / IRB
Technische Universität Dortmund

<https://sys.cs.tu-dortmund.de/de/lehre/ws25/bsb>

WS 25 – 13. Januar 2025

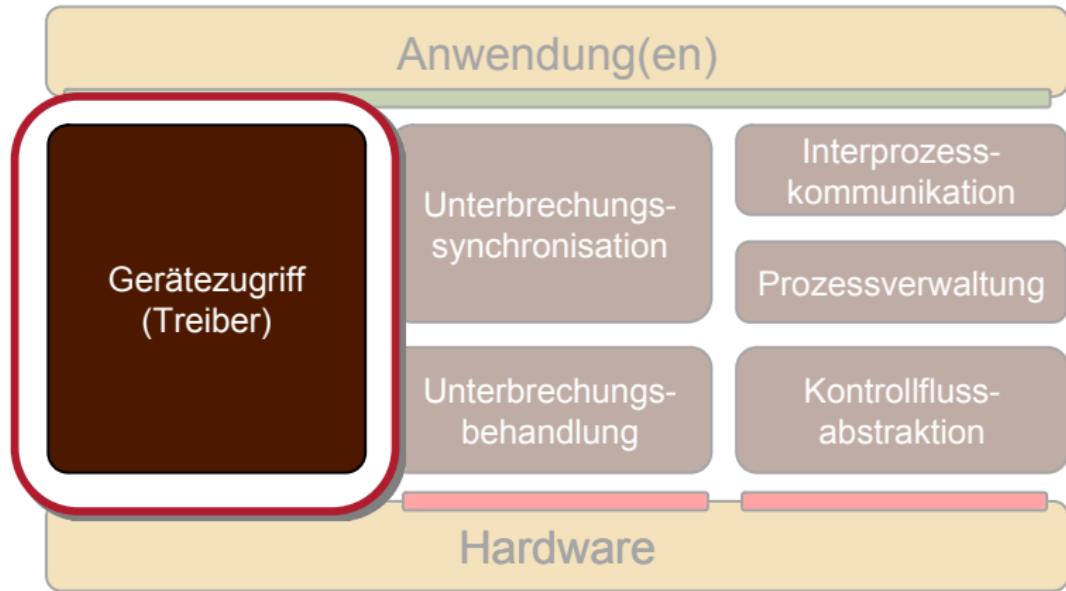
Lehre-Evaluation Wintersemester 25/26



Bitte nehmt teil und füllt die Umfrage aus!



Überblick: Einordnung dieser VL



Agenda

Evaluation

Einordnung

Anforderungen an das BS

Struktur des E/A-Systems

Zusammenfassung



Agenda

Evaluation

Einordnung

Bedeutung von Gerätetreibern

Anforderungen an das BS

Struktur des E/A-Systems

Zusammenfassung



Anteil Treiber-Sourcen in Linux-5.10.3:

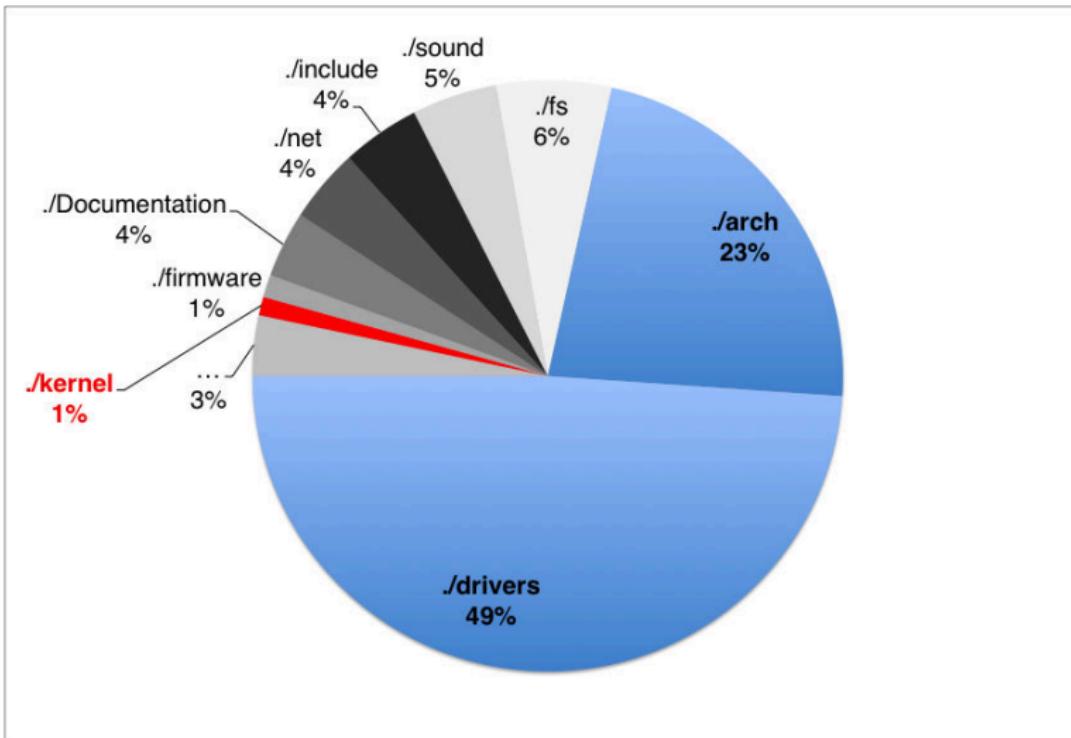
```
linux-5.10.3> du -skh * | sort -n
...
4.2M  mm
6.2M  lib
11M  kernel
34M  net
41M  sound
43M  fs
43M  tools
47M  include
53M  Documentation
134M  arch
670M  drivers
```

s



Bedeutung von Gerätetreibern (1)

■ Anteil an Treibercode in Linux 3.2.1



Bedeutung von Gerätetreibern (2)

- in Linux (3.2.1) ist der Treibercode (ohne ./arch) etwa **50 mal so groß** wie der Code des Kernels
 - und wächst rasant!
 - bei V2.6.32 waren es "nur" 25 mal mehr
 - bei V2.6.11 waren 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

Evaluation

Einordnung

Anforderungen an das BS

Einheitlicher Zugriff

Spezifischer Zugriff

Struktur des E/A-Systems

Zusammenfassung



- 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
```

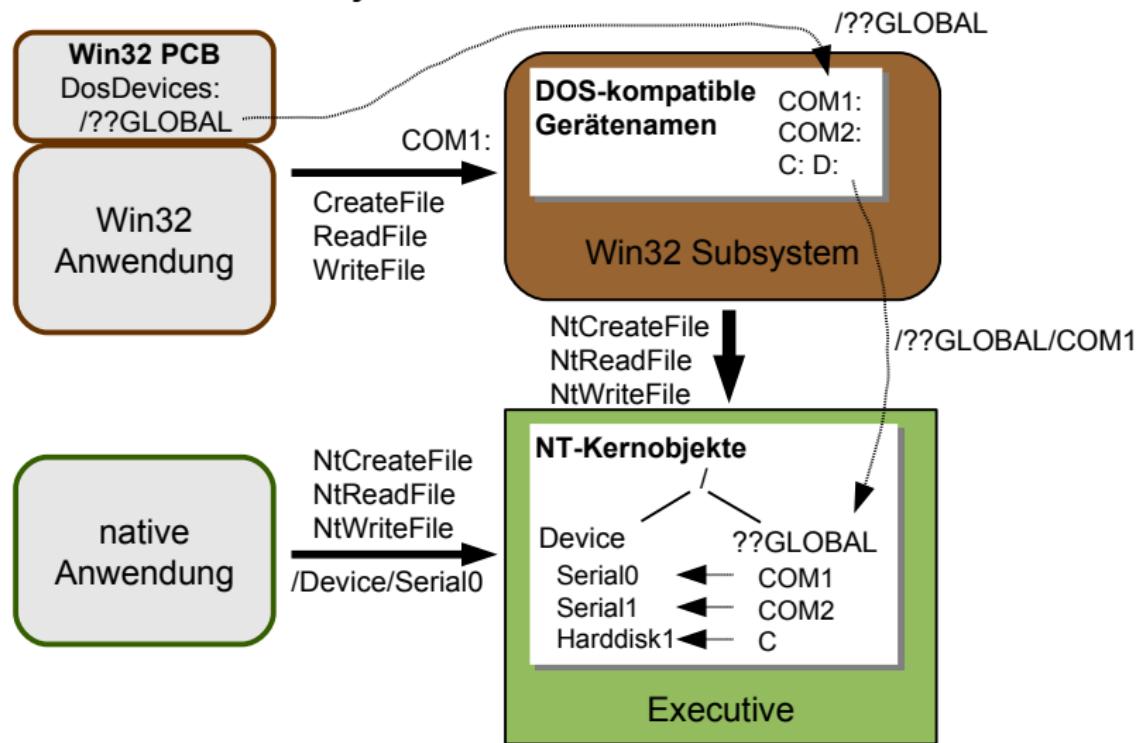
- Geräte sind über Namen im Dateisystem ansprechbar
- **Vorteile:**
 - Systemaufrufe für Dateizugriff (open, read, write, close) können auch für sonstige E/A verwendet werden
 - Zugriffsrechte können über die Mechanismen des Dateisystems gesteuert werden
 - Anwendungen sehen keinen Unterschied zwischen Dateien und "Gerätedateien"
- **Probleme:**
 - blockorientierte Geräte müssen in Byte-Strom verwandelt werden
 - manche Geräte lassen sich nur schwer in dieses Schema pressen
 - Beispiel: 3D Graphikkarte



- 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:

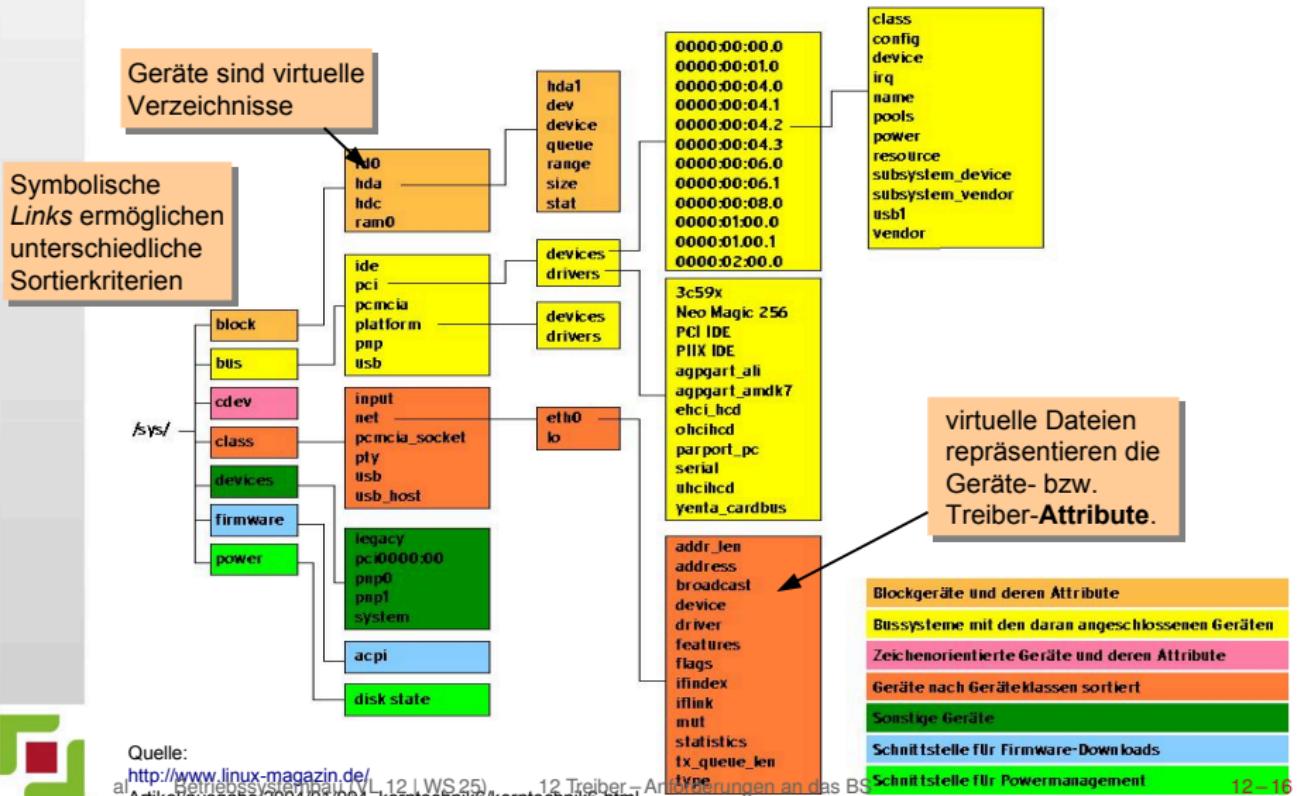
CONFORMING TO

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



Quelle:

al <http://www.linux-magazin.de/>
Artikel/ausgabe/2004/01/094_kerntechnik6/kerntechnik6.html

12 Treiber-Attributzuordnungen an das B

Linux – gerätespez. Funktionen (2)

Linux 2.6 – das Gerätemodell im sys-Dateisystem



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

Evaluation

Einordnung

Anforderungen an das BS

Struktur des E/A-Systems

 Treibermodell

 Linux

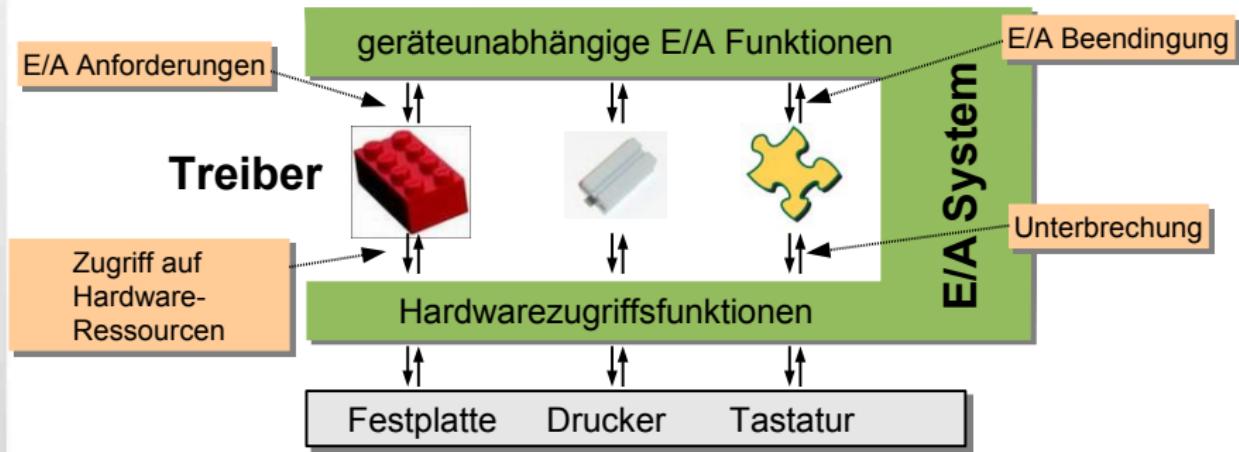
 Windows

Zusammenfassung



Struktur des E/A Systems (1)

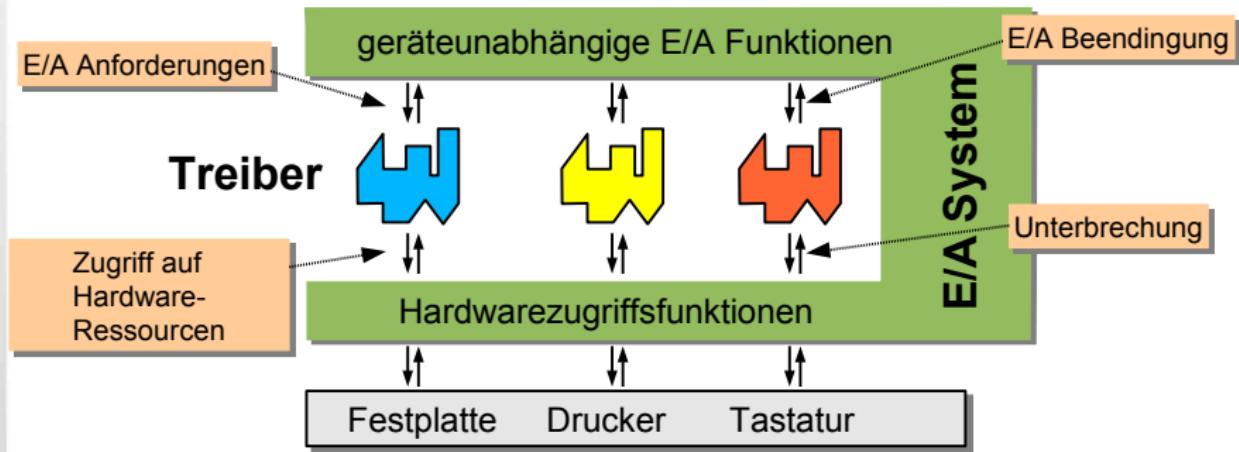
- Treiber mit unterschiedlicher Schnittstelle ...



- 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 und dann 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, anzufragen 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 Benutzeradressraum 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);
};
```



- 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

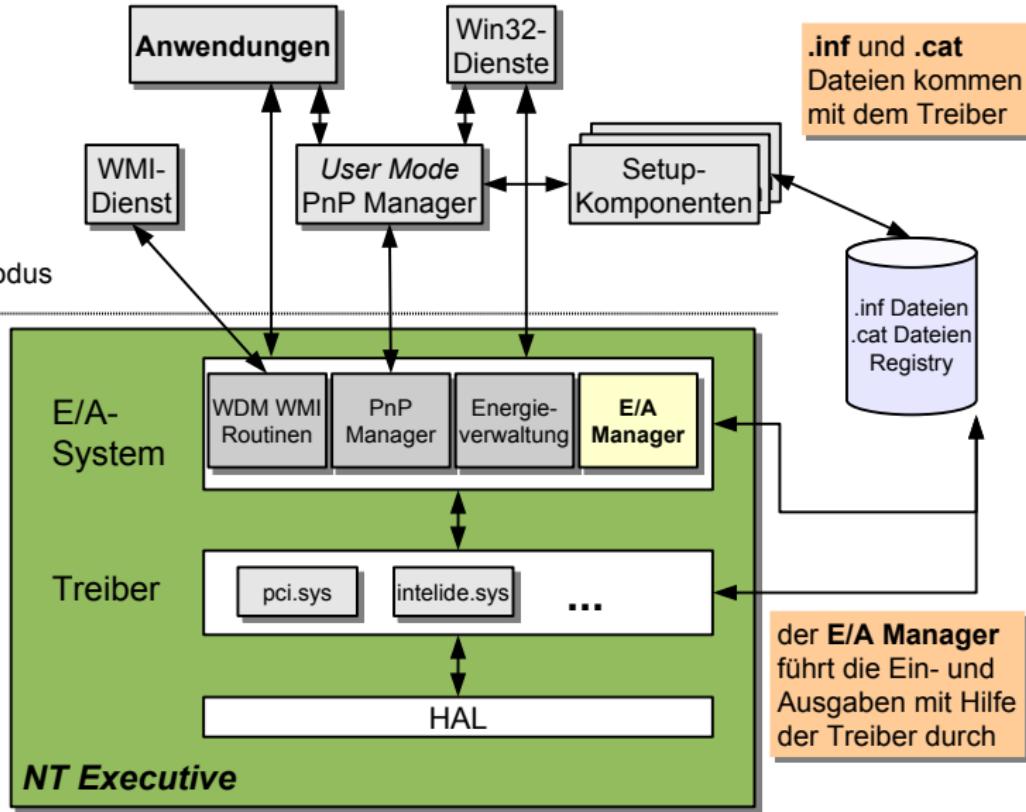
Windows – E/A System

WMI (ab Win2K)
dient der Ereignis- und Leistungüberwachung

Benutzermodus

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

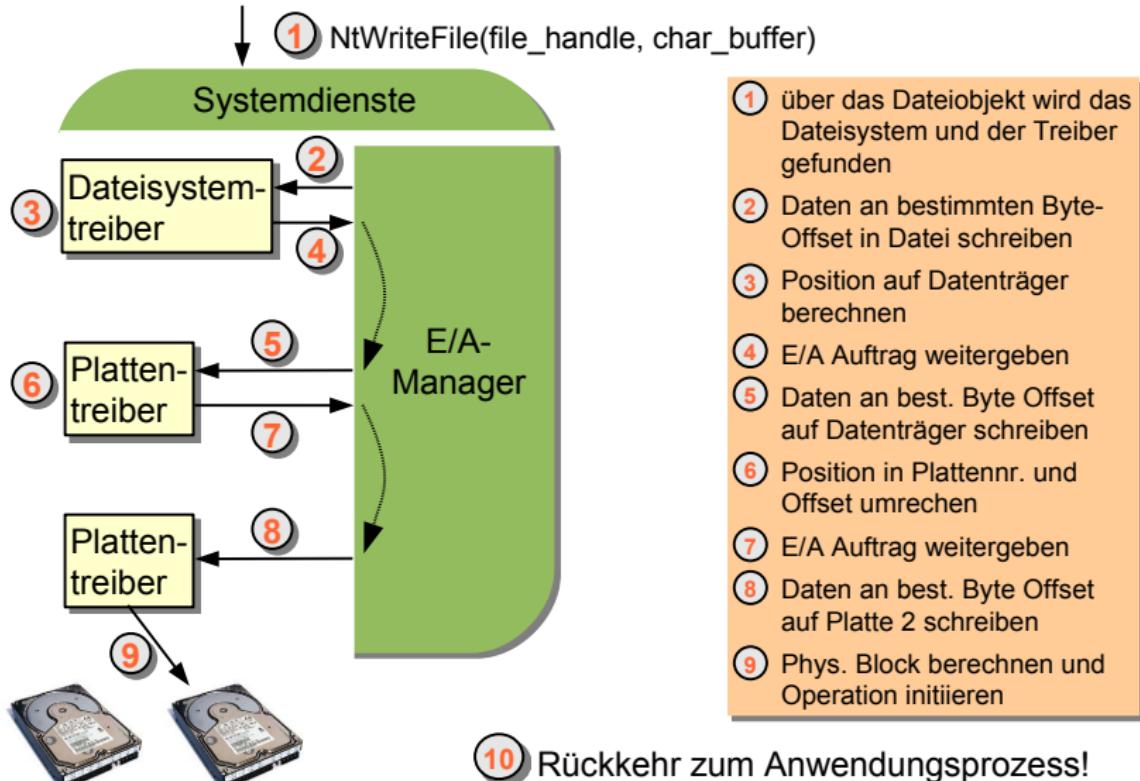
HAL ist die Hardware-Abstraktions- schicht



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
 - "Verteilerroutinen"
 - 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

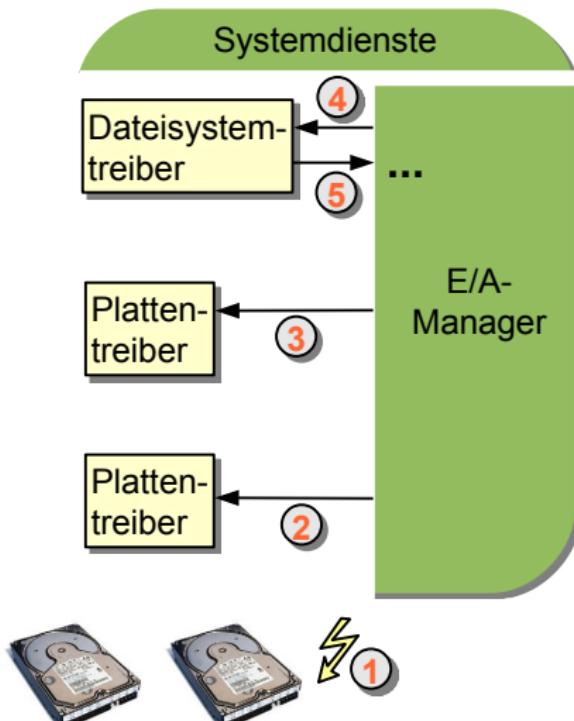


Windows – typischer E/A-Ablauf

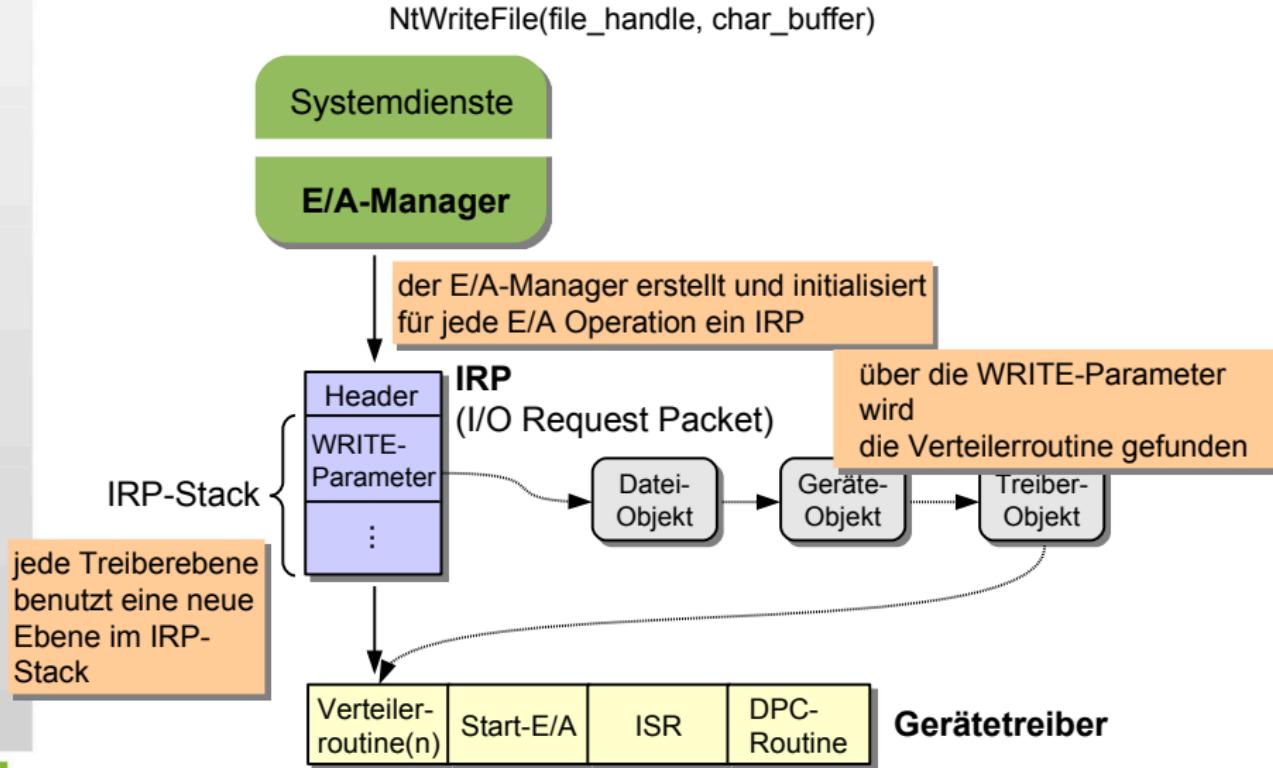
... Fortsetzung (nachdem die Platte fertig geworden ist)

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

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



Windows – E/A-Anforderungspaket



Agenda

Evaluation

Einordnung

Anforderungen an das BS

Struktur des E/A-Systems

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)

