Chemnitzer Linux-Tage 2014

KMS UXA DRM OMG WTF BBQ?

Durchblick im Linux-Grafikdschungel

Martin Fiedler
Dream Chip Technologies GmbH

Agenda

- Konsole und Framebuffer
- X Window System
- OpenGL, Mesa und Gallium3D
- DRI – Direct Rendering Infrastructure
- KMS – Kernel Mode Setting
- Compositing
- Treiber-Übersicht
- Andere Grafiksysteme – Android, Wayland und Mir
- Videobeschleunigung
- Hybridgrafik

Konsole und Framebuffer

Damals …

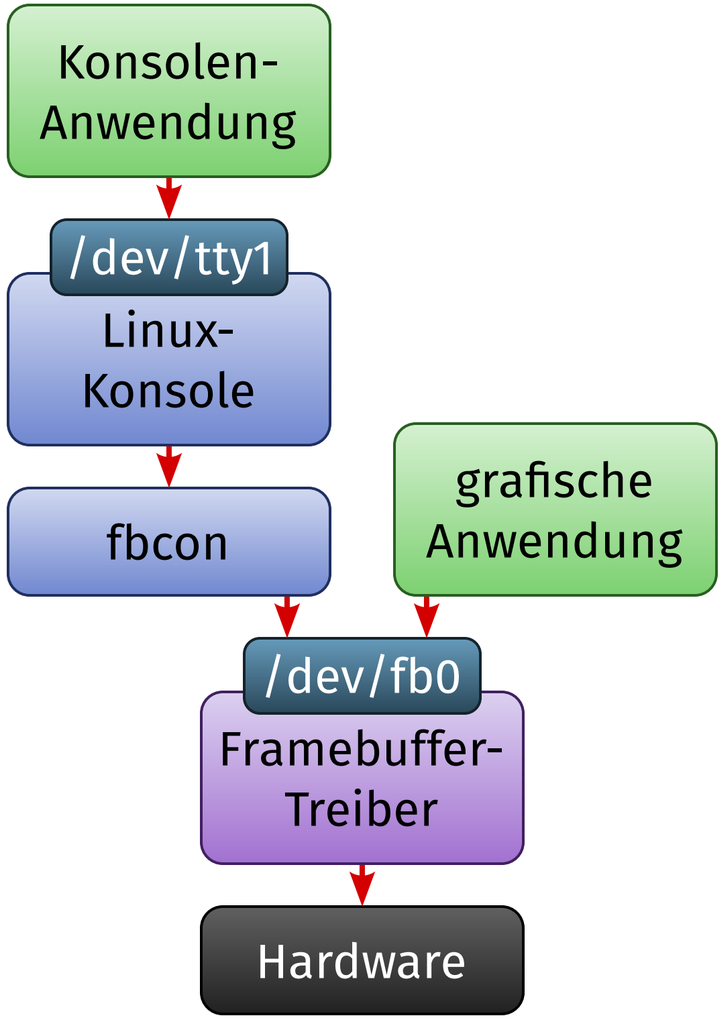
Die Situation zum Beginn der Linux-Zeit:

- Linux-Konsolentreiber steuerte VGA-Hardware direkt an
  - … natürlich im Textmodus ☺
- erste Programme, die Grafik anzeigen wollten, brachten ihre eigenen Treiber mit
- erste Libraries zur Grafikdarstellung, z.B. **SVGALib**
- Grafik-Applikation hinterlässt die Hardware im Originalzustand
  - beim Start: sichern des Zustands der Grafikhardware
  - beim Beenden: Wiederherstellen des alten Zustands
  - gilt auch heute noch für den X-Server

Framebuffer Devices

Erstes Grafik-Framework im Kernel: **Framebuffer Devices** (»fbdev«)

- nötig geworden wegen Portierbarkeit:
  viele Plattformen haben gar keinen Textmodus
- hardwarespezifische Kerneltreiber
  mit einheitlichem API
  - z.B. `intelfb`, `atifb`
  - `vesafb`: hardwareunabhängig,
    nutzt das VESA-BIOS der Grafikkarte
  - `efifb`: dito, für UEFI
- vom Userspace aus nutzbar: `/dev/fb`*X*
- sehr einfaches API
- **fbcon**: Emulation der Textkonsole
  mit Bitmap-Fonts (und Pinguinen ☺)
  - im Kernel, nicht Userspace

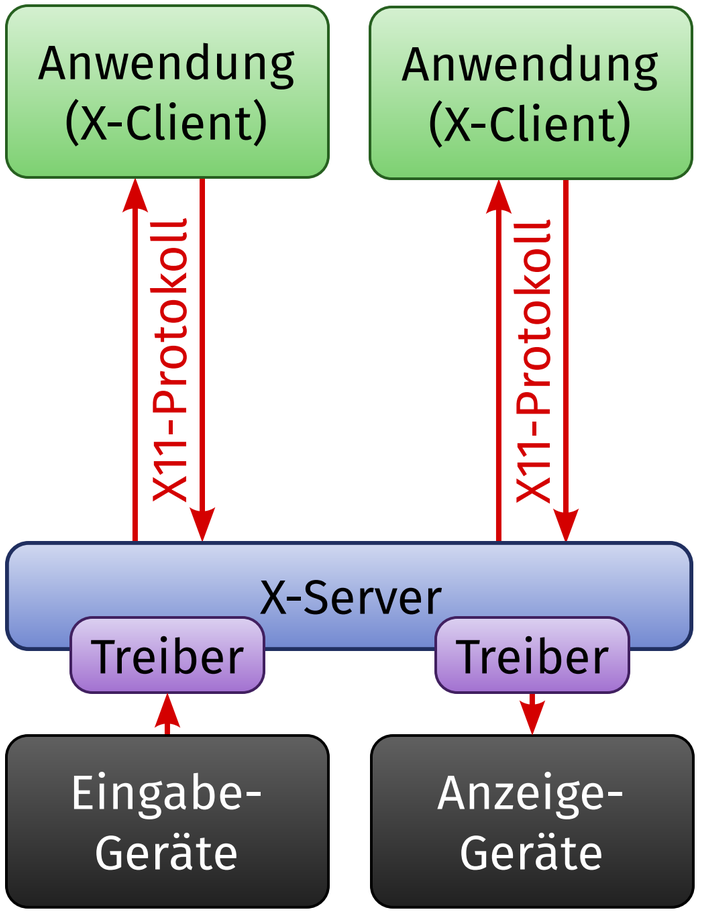


X Window System

X Window System

Das verbreitetste grafische System unter Linux: Das **X Window System** (»X11«, »X«)

- auf allen Unix-Derivaten verbreitet
- Client/Server-Architektur
  - *Client* = Anwendung
  - *Server* verwaltet Ein- und Ausgabe
- *netzwerktransparent*: Client und Server müssen nicht auf dem selben Rechner laufen
  - Kommunikation via TCP/IP
  - oder lokal über Unix Domain Sockets
- **X11** ist der Name des *Protokolls*
- X-Server verwaltet eine Fensterhierarchie
  - *root window* = Desktophintergrund
  - *top-level windows* = Anwendungsfenster
  - *subwindows* = Steuerelemente (Knöpfe etc.)



X-Clients und -Server

- X-Clients implementieren X11-Protokoll nicht direkt, sondern nutzen Libraries:
  - traditionell **Xlib**
  - neuer, schlanker: **XCB** (»X11 C Bindings«)
  - auch Toolkits (Motif, Gtk, Qt, …) setzen auf Xlib oder XCB auf
- *Windowmanager*: spezieller X-Client, der die Positionen der Top-Level-Fenster steuert und Fensterrahmen (»Dekorationen«) zeichnet
- X-Server erledigt Eingabe (Tastatur, Maus, …) und Ausgabe (nur Grafik)
  - generischer Teil: **DIX** (»Device Independent X«)
  - hardwareabhängiger Teil: **DDX** (»Device Dependent X«)
    - enthält Treiber für Eingabegeräte und Grafikhardware
- populärste X-Server-Implementierung: **XFree86**, heute **X.Org**
  - DDX-Teil modular aufgebaut: Treiber sind gekapselte Module
  - DDX-Interface ändert sich oft zwischen Revisionen

X-Extensions

Das X-Protokoll ist mit **Extensions** erweiterbar, um zusätzliche Funktionalität bereitzustellen. Beispiele:

- **XSHM** (»X Shared Memory«) – schnellere lokale Anzeige von Bitmap-Grafiken
- **Xv** (»X Video«) – hardwarebeschleunigte Darstellung von Videos
- **GLX** – OpenGL unter X
- **Xinerama** – Multi-Monitor-Support
- **XRandR** (»X Resize and Rotate«) – Konfiguration des Grafikmodus ohne X-Server-Neustart
- **XRender** – moderne 2D-Grafik mit Antialiasing und Alpha-Blending
  - heute Grundlage für (fast) jegliche 2D-Grafikdarstellung

2D-Grafikbeschleunigung in X

Mehrere Ansätze für hardwarebeschleunigte 2D-Grafik in XFree86 bzw. X.Org:

- **XAA** (»XFree86 Acceleration Architecture«, 1996)
  - einfache Beschleunigung von Linien und Fülloperationen
- **EXA** (2005) – abgeleitet aus **KAA** (»Kdrive Acceleration Architecture«, 2004)
  - gezielte Beschleunigung von XRender
- **UXA** (»Unified Memory Acceleration Architecture«, 2008)
  - von Intel als EXA-Nachfolger entwickelt
  - hat sich (außer auf Intel-Hardware) nicht durchgesetzt
- **SNA** (»Sandy Bridge New Acceleration«, 2011)
  - sehr Intel-spezifisch, aber sehr schnell
- **Glamor** (2011)
  - implementiert sämtliche Beschleunigungsfunktionen mit OpenGL
  - dadurch hardwareunabhängig

OpenGL

OpenGL

OpenGL (»Open Graphics Language«) ist *das* Standard-API für 3D-Grafik.

- Industriestandard, herausgegeben vom Konsortium »Khronos Group«
- Funktion: hardware-beschleunigtes Zeichnen von texturierten Dreiecken

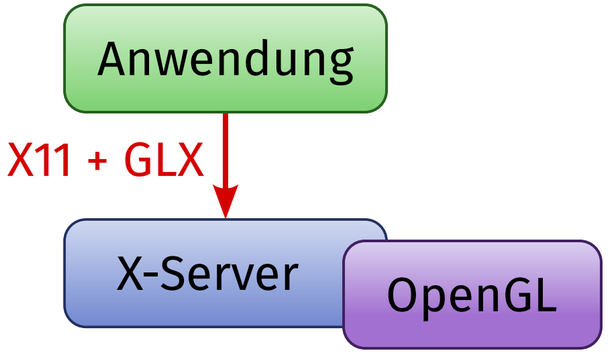
- OpenGL ES = »OpenGL for Embedded Systems«
  - (weitestgehend) Teilmenge von OpenGL, ~90% kompatibel
- OpenGL (ES) 2.0 und neuer beherrschen programmierbare **Shader**
  - C-ähnliche Sprache **GLSL** (»OpenGL Shading Language«)
- Extension-Mechanismus (ähnlich wie bei X11)

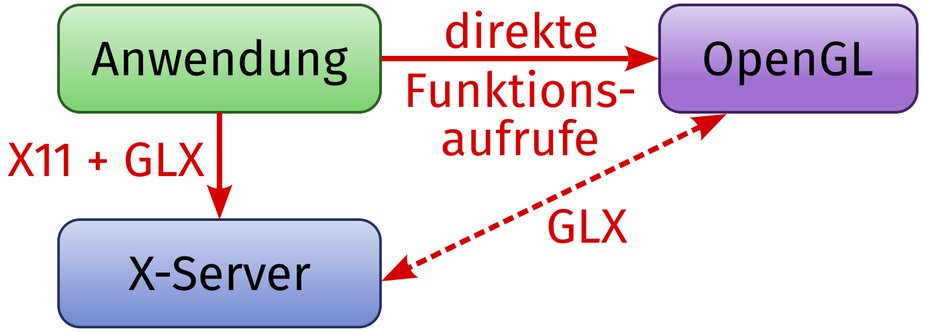
- zusätzliches systemspezifisches API zur Verwendung nötig:
  - **GLX** im X Window System
  - WGL (Windows), AGL (Mac OS X)
  - **EGL** für OpenGL ES (Embedded Linux, Android, iOS, …)
    - systemübergreifend verfügbar, wird GLX etc. langfristig ablösen

Indirect vs. Direct Rendering

Wie sieht die Verwendung von OpenGL unter Linux mit X.Org in der Praxis aus?

- GLX = Teil des X-Protokolls
- *Indirect Rendering*
  - OpenGL-Kommandos werden durch das GLX-Protokoll übertragen
  - früher war so keine Hardware-Beschleunigung möglich
- *Direct Rendering*
  - nur lokal möglich
  - Client linkt gegen `libGL.so` und benutzt diese direkt
  - `libGL.so` enthält eine (evtl. hardware-spezifische) OpenGL-Implementation





Mesa

Unter Linux kommen zwei Arten von OpenGL-Implementationen zum Einsatz:

- die *proprietären* Treiber von nVidia und AMD
- oder **Mesa**

Mesa ist eine Open-Source-Implementierung von OpenGL

- … einschließlich GLX, EGL und OpenGL ES
- zunächst nur Software-Rendering
- heute Grundlage für alle Open-Source-3D-Treiber

Gallium3D

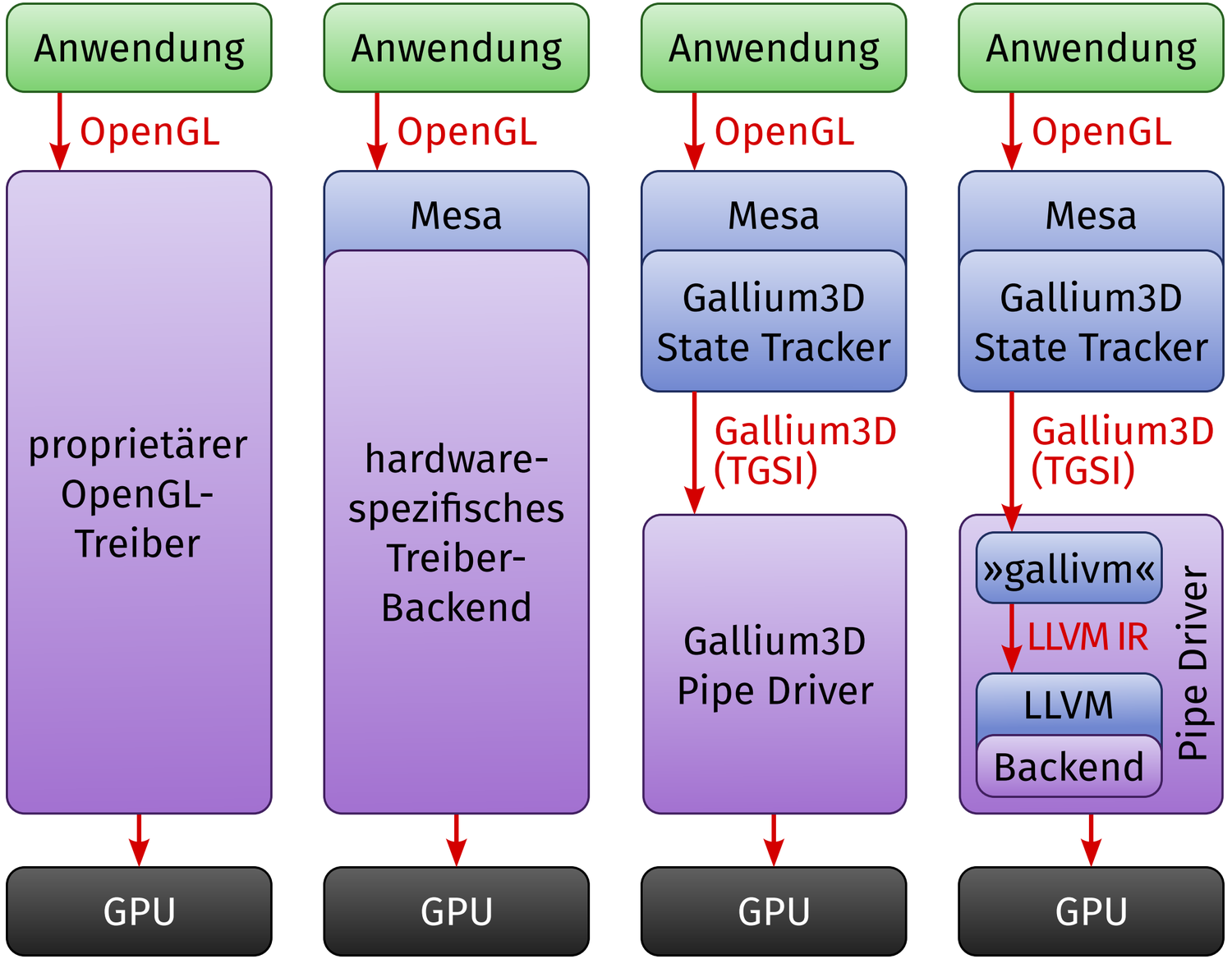
Gallium3D ist ein Framework zur betriebssystemunabhängigen Implementierung von Treibern für GPUs.

- setzt teilweise auf Mesa auf
- nicht nur 3D, auch Compute und Videodecodierung
- konzeptionelle Dreiteilung:
  - **State Tracker**: Implementation eines Client-APIs
    - z.B. OpenGL (über Mesa), OpenCL für Compute, VDPAU und OpenMAX für Video
  - **WinSys Driver**: Implementation der GLX- oder EGL-Schicht
  - **Pipe Driver**: Hardware-Backend für konkrete GPUs
    - z.B. `llvmpipe` (vergleichsweise schneller Software-Renderer)
    - `nv30`, `nv50`, `nvc0`, `nve0` (nVidia-GPUs); `r300`, `r600`, `radeonsi` (AMD-GPUs)
- benutzt intern die Shadersprache **TGSI** (»Tungsten Graphics Shader Infrastructure«)
  - zusätzlicher Umweg über LLVM in einigen Backends

OpenGL-Treiberstacks

Insgesamt vier mögliche Treiberstacks für OpenGL:

- Proprietärer Treiber
  - ersetzt `libGL.so`
- »Mesa Classic«
  - generische `libGL.so`
  - hardwarespezifisches Backend in Mesa
- Mesa + Gallium3D
  - Mesa als State Tracker
  - Gallium3D-Backend (TGSI)
- Mesa + Gallium3D + LLVM
  - Mesa als State Tracker
  - Gallium3D-Backend (LLVM)



OpenCL

- Aktuelle GPUs eignen sich nicht nur für Grafik
  - enthalten Dutzende bis Tausende schneller Floating-Point-Recheneinheiten
  - **GPGPU** (»General Purpose GPU«) oder **Compute**-Anwendungen
- Standard-API für Compute: **OpenCL** (»Open Compute Language«)
  - ebenfalls von der Khronos Group herausgegeben
  - Linux-Support ähnlich wie bei OpenGL:
    - Closed-Source-Treiber bringen eigene Implementation mit
    - Gallium3D: State Tracker **Clover**
    - **Beignet** für Intel-GPUs
- weiteres verbreitetes Compute-API: **CUDA**
  - nVidia-proprietär, nur in Closed-Source-Treibern verfügbar

Direct Rendering Infrastructure

DRI & DRM

- OpenGL-Treiber läuft im Userspace als Teil der Anwendungsprozesse
- Zugriff zur Grafikhardware erfordert jedoch einen Kerneltreiber
  - außerdem nötig für Koordination mehrerer paralleler Prozesse
- Proprietäre Grafiktreiber benutzen proprietäre Kerneltreiber-APIs
- Für Open-Source-Treiber existiert ein entsprechendes Framework:
  die **Direct Rendering Infrastructure** (**DRI**)

- Mehrere Schichten:
  - hardwareunabhängige Userspace-Library (`libdrm.so`)
  - hardware- und treiberabhängige Userspace-Library (z.B. `libdrm_intel.so`)
  - eigentliches Kernelmodul: **Direct Rendering Manager** (**DRM**)
- DRM stellt Devices `/dev/dri/card`*X* zur Verfügung
  - aber: Interface zwischen `libdrm_`*XXX*`.so` und DRM ist teilweise treiberabhängig

DRI-Versionen

Es existieren drei wesentliche Generationen der DRI:

- DRI 1 (1998)
  - erste, eingeschränkte Implementierung
  - sehr ineffizient bei mehreren gleichzeitig laufenden 3D-Anwendungen
- DRI 2 (2007)
  - löst die gravierendsten Probleme von DRI 1
  - die derzeit aktuelle, verbreitetste Version
- DRI 3 (2014?)
  - viele Detailverbesserungen gegenüber DRI 2
  - derzeit in der Entwicklung

Die folgenden Folien beziehen sich auf DRI 2, soweit nicht anders angegeben.

DRM Master und Render Nodes

DRM-Clients sind nicht gleichberechtigt – es gibt einen »**DRM Master**«

- typischerweise der X-Server
- läuft als root
- verwaltet allein die GPU
  - es ist immer nur ein DRM Master pro GPU aktiv
- kann andere Prozesse autorisieren, die GPU zu benutzen

- Problem: GPU-Nutzung ohne X-Server dadurch nicht möglich
  - ärgerlich für Compute-Anwendungen
- Lösung: **Render Nodes** in DRI 3
  - `/dev/dri/renderD`*XX*
  - eingeschränkte Funktionalität – keine Grafikausgabe
  - keine Autorisierung durch den DRM Master nötig

Speicherverwaltung und Buffer-Sharing

Eine wesentliche Aufgabe der DRI ist die Verwaltung des Grafikspeichers.

- der Intel-Treiber verwendet dafür **GEM** (»Graphics Execution Manager«)
- die meisten anderen Treiber verwenden das API von GEM, aber eine andere Implementierung dahinter: **TTM** (»Translation Table Manager«)
- wichtiges Feature: Weitergabe und Teilen (»Sharing«) von Puffern im Grafikspeicher über Prozessgrenzen hinweg
  - essenziell für Compositing (»3D-Desktops« wie Compiz)
- unter GEM: **flink**-Mechanismus
  - globale numerische ID für geteilte Buffer
  - Sicherheitsproblem: IDs sind leicht erratbar
- neueres, sichereres Sharing-API ab Linux 3.3: **DMA-Buf**
  - Buffer erhalten Filedeskriptoren
  - Filedeskriptoren können über Unix Domain Sockets sicher übertragen werden

Kernel Mode Setting

Probleme mit User Mode Setting

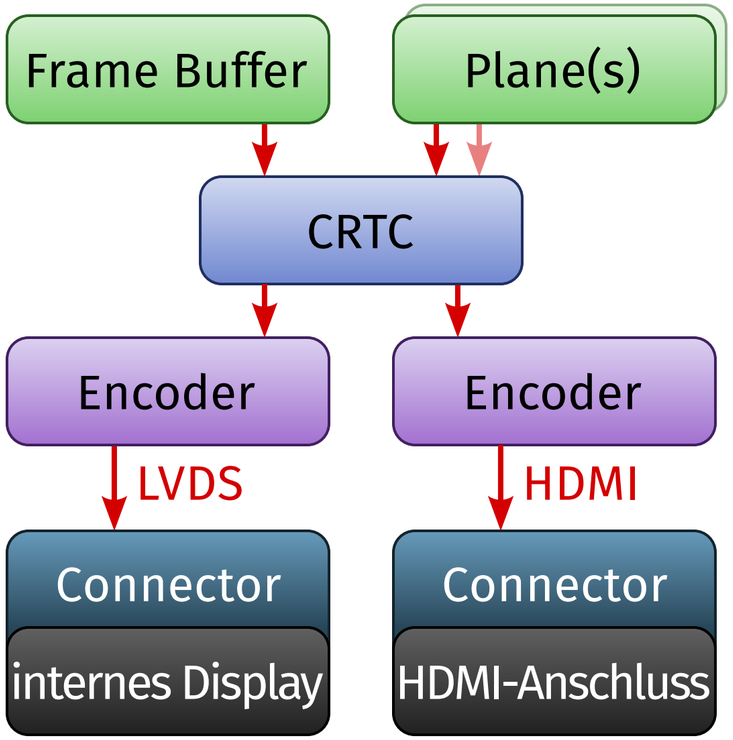
Klassische Grafikmoduseinstellung (»User Mode-Setting«) ist problematisch:

- Grafikhardware wird mehrfach initialisiert
  - erst vom BIOS für die Bootmeldungen …
  - … dann vom Framebuffer-Treiber für die Bootkonsole …
  - … und schließlich vom X-Server
- Geflacker beim Booten
- Geflacker beim Wechsel zwischen virtuellen Terminals und X-Server-Instanzen
- Teile des Treibercodes doppelt
  - Framebuffertreiber und DDX
- Probleme mit Suspend und Resume
- VESA-Framebuffertreiber kann Displayauflösung nicht ermitteln
  - startet in irgendeiner Standard-Auflösung
  - Resultat: hässliche Bootmeldungen ☹

Kernel Mode Setting

Lösung: **Kernel Mode Setting** (**KMS**)

- *ein* Treiber im Kernel,
  benutzt von Framebuffer *und* X-Server
- Subsystem der DRI
  - keine neuen Device Nodes
- flexibles Displaykonzept, angelehnt an die Möglichkeiten moderner Displayhardware:
  - *Frame Buffer*
  - *Plane* = Overlay
  - *CRTC* = Displaycontroller
  - *Encoder*, z.B. HDMI-Transmitter
  - *Connector* = physischer Anschluss
- Frame Buffer und Planes sind DRI-Buffer



(Beispiel)

KMS: Ausblick

- `xf86-video-modesetting`: *hardwareunabhängiger* DDX-Treiber für X.Org auf Basis von KMS und Glamor

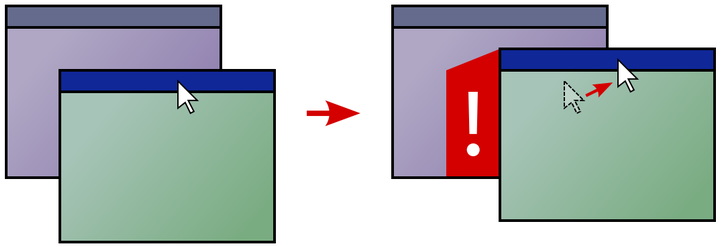
- **KMSCON**: Ablösung der Kernel-Framebuffer-Konsole durch eine Userspace-Terminalemulation
  - Features: Hardwarebeschleunigung, Multi-Monitor-Support, vollständiger Unicode-Support, Antialiasing, …

- Weiterentwicklung von KMS: **ADF** (»Atomic Display Framework«)
  - nützlich für Hardware mit mehreren Overlay-Ebenen
    - Standard-Feature im Embedded-Bereich und auf Mobilgeräten
  - Einstellungen aller Overlays können synchrom (»atomar«) geändert werden
    - Flackern und Tearing wird verhindert

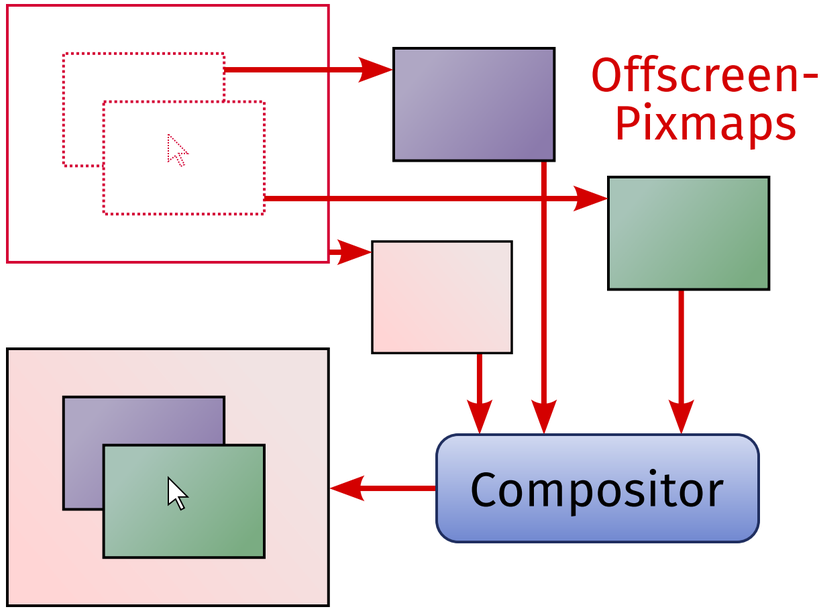
Compositing

Compositing

- unter X11 sind Fenster normalerweise »verlustbehaftet«
  - wenn durch ein anderes Fenster verdeckte Inhalte aufgedeckt werden (»Expose«), wird neu gezeichnet



- Alternative: **Redirection**
  - Fenster wird nicht auf den Bildschirm gezeichnet, sondern »off-screen« in eine **Pixmap**
  - Verarbeitung von Eingaben weiterhin so, als ob das Fenster am üblichen Platz wäre
- ein **Compositor** zeichnet die Off-Screen-Pixmaps an die richtige Stelle
  - nur ein »echtes« Fenster ohne Redirection: das *Compositor Root Window*

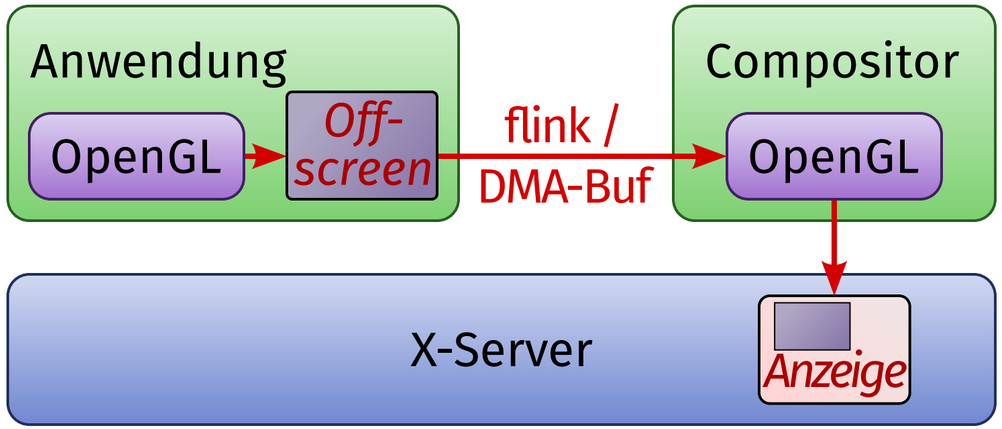


- Compositor meist in den Windowmanager integriert
- **Unredirection** = Aufheben der Redirection für Vollbild-Fenster

Compositing und OpenGL

Compositing mit OpenGL ist besonders interessant für »3D-Desktops« wie Compiz.

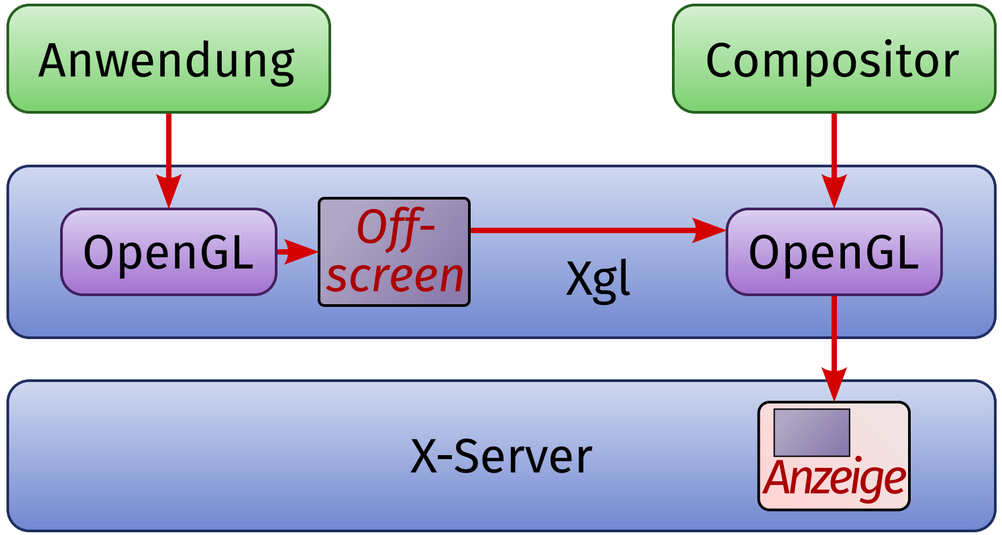
- aber: OpenGL kennt keine X11-Pixmaps, nur Texturen und Framebuffer
- *Problem 1:* Compositor benötigt Pixmaps als OpenGL-Texturen
  - Lösung: Extension `GLX_EXT_texture_from_pixmap`
- *Problem 2:* Compositor benötigt Zugriff auf Framebuffer anderer OpenGL-Kontexte (in anderen Prozessen!)
  - inzwischen leicht realisierbar mit DRI und Buffer Sharing
    - jeder OpenGL-Framebuffer ist ein DRI-Buffer
    - Compositor benutzt diese DRI-Buffer als Texturen



Xgl

Erster Lösungsansatz für das OpenGL-Compositing-Problem: **Xgl**

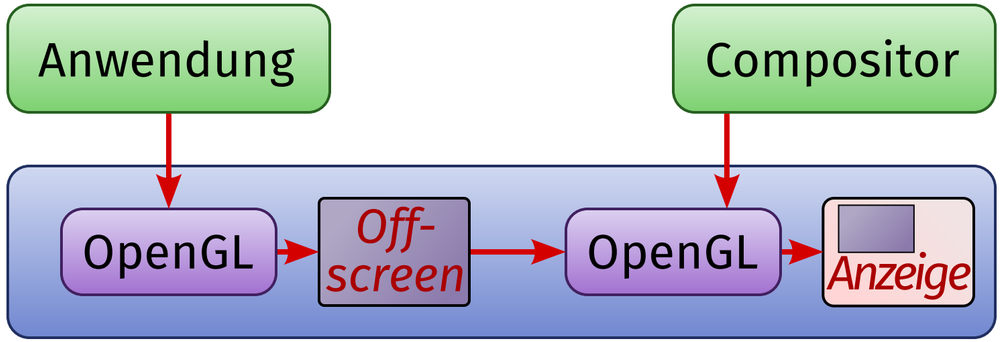
- Xgl = spezieller »virtueller« X-Server
- zeichnet ausschließlich mit OpenGL
  - X-Anwendungen mit der **glitz**-Library, einem Vorläufer von Glamor
  - OpenGL-Anwendungen mittels Indirect Rendering
    - alle OpenGL-Befehle gehen durch den Server hindurch
    - Ausgabe wird in OpenGL Frame Buffer Objects umgeleitet
  - Compositor erhält so Zugriff auf sämtliche Fensterinhalte
- Xgl selbst läuft wiederum auf einem »echten« X-Server



AIGLX

Zweiter Lösungsansatz für das OpenGL-Compositing-Problem: **AIGLX** (»Accelerated Indirect GLX«)

- ermöglicht hardwarebeschleunigtes Indirect Rendering für OpenGL
- *erzwingt* sogar Indirect Rendering:
  - OpenGL-Rendering findet ausschließlich im Server statt
  - Ausgabe wird in OpenGL Frame Buffer Objects umgeleitet
- Compositor erhält so Zugriff auf sämtliche Fensterinhalte



Treiber-Übersicht

Treiber für PC-Grafikhardware

- Treiber für DRI, X.Org (DDX), Mesa und Gallium3D heißen oft unterschiedlich
- teilweise verschiedene Kombinationsmöglichkeiten

- für nicht unterstützte Grafikhardware
  - Verwendung des VESA-BIOS oder der UEFI-Firmware für Grafikmoduseinstellung
  - OpenGL-Softwarerendering
    - früher Mesas Software-Renderer – extrem langsam
    - heute Gallium3D `llvmpipe`: generiert Maschinencode, etwas schneller

- **Intel**-Chipsatz- oder Prozessorgrafik
  - vorbildlicher Treibersupport, ausschließlich Open Source
  - altmodisch: kein Gallium3D
    - lediglich experimenteller Treiber »ILO«
    - offizielle Treiber setzen direkt auf Mesa auf

Treiber für PC-Grafikhardware

- Grafikchips von **ATI** / **AMD**
  - proprietärer Closed-Source-Treiber: **fglrx**
  - AMD gibt Hardwaredokumentation heraus → guter Open-Source-Treibersupport
  - **radeon**-Treiberfamilie: Mesa für Radeon 7000 – 9250, Gallium3D ab Radeon 9500
  - **radeonhd**-Treiberfamilie: Mesa für Radeon X1000 – HD4000, nicht weiterentwickelt
- Grafikchips von **nVidia**
  - proprietärer Closed-Source-Treiber: **nvidia**
  - spärliche Hardwaredokumentation → Open Source nur dank Reverse Engineering
  - **nv**-Treiber: alter Open-Source-2D-Treiber für Riva 128 und ältere GeForce
  - **nouveau**-Treiberfamilie: Gallium3D, ab GeForce FX
  - **nouveau_vieux**-Treiberfamilie: Mesa, Riva TNT bis GeForce 4

Typische Treiberstacks auf dem PC

Treiber	Fallback	Intel	AMD		nVidia	
Framebuffer	vesafb / efifb	KMS	vesafb	KMS	vesafb	KMS
DRM/Kernel	—	i915	fglrx	radeon	nvidia	nouveau
X.Org-DDX	fbdev / vesa	intel	fglrx	radeon	nvidia	nouveau
2D-Beschl.	—	UXA / SNA	EXA	EXA / Glamor	EXA	EXA
OpenGL	Mesa	Mesa	fglrx	Mesa	nVidia	Mesa
Mesa	Gallium3D	i915 / i965	—	Gallium3D	—	Gallium3D
Gallium3D	llvmpipe	—	—	r300 / r600 / radeonsi	—	nv30 / nv50 / nvc0 / nve0
OpenCL	Gallium3D	Beignet	fglrx	Gallium3D	nVidia	Gallium3D

Treiber für Embedded-GPUs

Die Treibersituation für GPUs in Smartphones, Tablets usw. ist deutlich komplizierter.

- GPU-, SoC- und Gerätehersteller liefert nur Closed-Source-Treiber
  - oft fürchterliche Qualität, viele Bugs
  - bisweilen nicht einmal Kerneltreiber in Source vorhanden
  - sogar die Weitergabe des Binärcodes(!) wird lizenzrechtlich eingeschränkt
- Ausnahme: Broadcom VideoCore IV (z.B. Raspberry Pi)
  - Dokumentation und Treiber im Februar 2014 veröffentlicht

Ansätze für Open-Source-Treiber mittels Reverse Engineering:

- Qualcomm Adreno – **Freedreno**
- ARM Mali – **Lima**
- Vivante – **Etna_viv**
- nVidia Tegra – **Grate**
- Imagination Technologies PowerVR – ???

Andere Grafiksysteme

Blick über den Tellerrand

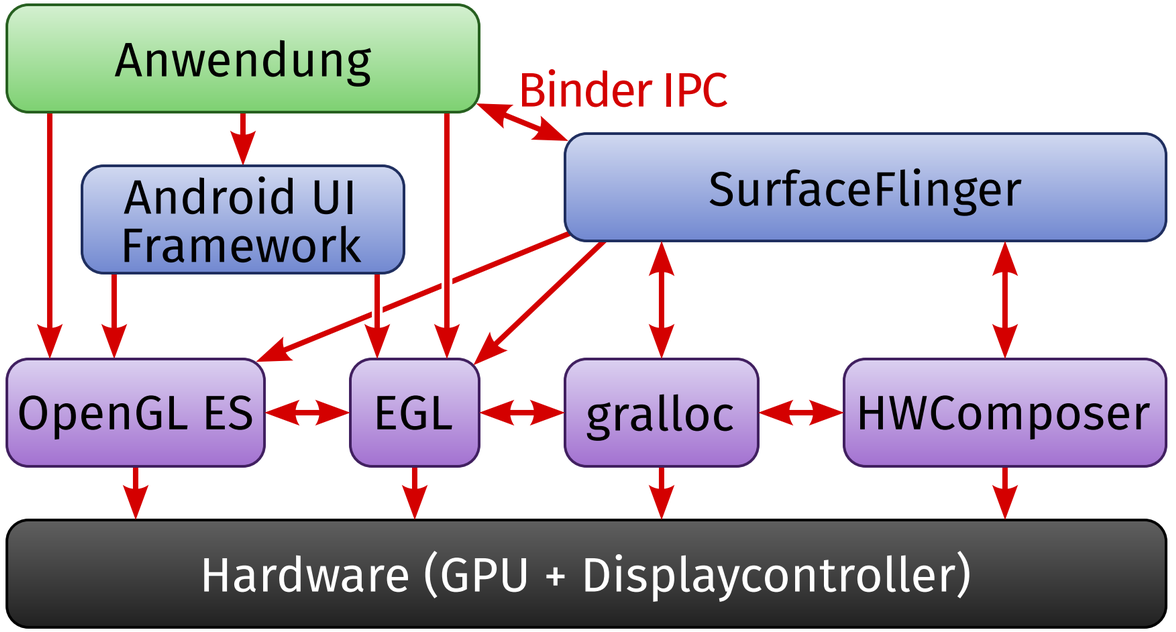
Bisher ging es ausschließlich um das X Window System,
doch es gibt auch andere Grafiksysteme.

- die grundlegenden *Konzepte* sind aber immer ähnlich

- Beispiel: **DirectFB**
  - 1997 für Embedded-Systeme (Set-Top-Boxen) entwickelt
    - Ziel: Grafiksystem mit geringerem Ressourcenbedarf als X
  - setzt auf dem Linux-Framebuffer-Device auf
    - zusätzliche Hardwaretreiber für Beschleunigungsfunktionen
  - Grundlage: `libdirectfb`
    - verwaltet Grafik- und Soundausgabe sowie Eingabegeräte
  - eigener Fenstermanager, Portierungen von Toolkits, Kompatibilität zu X (dank speziellem X-Server), …
  - dennoch: keine Relevanz auf dem Desktop

Android

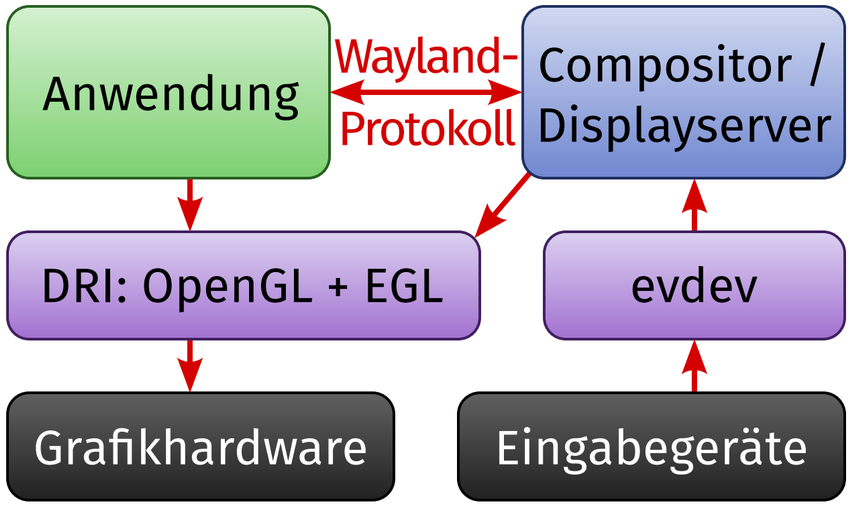
- Android nutzt von Linux (fast) nur den Kernel
  - kein GNU-Userland, kein X
  - eigene C-Bibliothek: **Bionic**
  - eigener IPC-Mechanismus: **Binder**
- Grafik-Grundlage: OpenGL ES und EGL
  - kein DRI, da meist proprietäre Treiber
- hardwarespezifische **HWComposer**-Library erfüllt ähnliche Aufgaben wie KMS
- **gralloc** zur Grafikspeicherverwaltung
  - in neueren Versionen Teil von HWComposer
- **SurfaceFlinger** als Compositor und Display-Server
- Anlegen der Grafikpuffer durch SurfaceFlinger



Wayland

Derzeit heißester Kandidat für die Ablösung des X Window Systems: **Wayland**

- Ziel: radikale Vereinfachung der Konzepte von X
- technisch gesehen ein *Protokoll*
  - vermittelt über Unix Domain Sockets
  - *nicht* netzwerktransparent
- Server-Teil ist kein eigenständiges Programm, sondern eine Library
  - wird vom Compositor benutzt
    → der Compositor *ist* der Display-Server
  - Referenzimplementierung: **Weston**
- Grundlagen sind EGL und DRI
- Anlegen der Grafikpuffer und Zeichnen findet im *Client* statt
- Eingabegeräte werden direkt über die Event-Schnittstelle angebunden



XWayland und Hybris

Wie kommen X-Anwendungen auf den Wayland-Schirm?

- **XWayland** = modifizierter »rootless« X.Org-Server,
  der alle X-Fenster als Wayland-Clients bereitstellt
- benötigt weiterhin hardwarespezifische DDX-Treiber, Ausnahmen:
  - `xf86-video-wlshm` (hardwareunabhängig, aber unbeschleunigt)
  - `xf86-video-wlglamor` (2D-Beschleunigung durch Glamor)

Wayland kann durch **libhybris** Android-Grafiktreiber benutzen:

- libhybris ist »Vermittler« zwischen der GNU-libc-Welt und der Bionic-Welt
  - libc-Programme können Bionic-Bibliotheken benutzen
  - insbesondere `libGLESv2.so`, den OpenGL-ES-Treiber
- setzt auch andere Android-Besonderheiten (z.B. gralloc, EGL-Spezialitäten) um

Mir

Canonicals Konkurrenz zu Wayland: **Mir**

- Grafiksystem für kommende Ubuntu-Versionen
  - noch nicht in 14.04, aber evtl. in 14.10
- konzeptionell sehr eng verwandt mit Wayland,
  aber andere, inkompatible Implementation
- benutzt weitere Teile von Android, z.B. das Eingabe-Subsystem
- mehr Fokus auf Datenaustausch zwischen Anwendungen als bei Wayland
- Anlegen der Grafikpuffer im Server, Zeichnen im Client
- **XMir** = XWayland für Mir
- benutzt ebenfalls libhybris für Android-Grafiktreiber

- großer Widerstand in der Community
  - technische Notwendigkeit angezweifelt

Videobeschleunigung

Videobeschleunigung

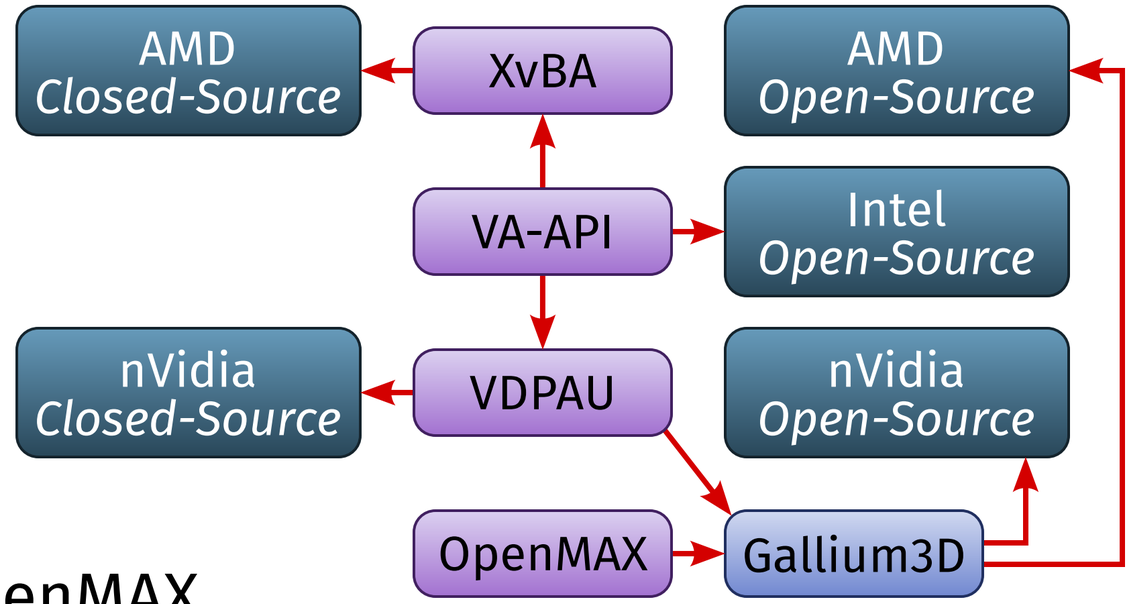
Es gibt mehrere Ansätze für hardwarebeschleunigte Videodarstellung unter X:

- **Xv** (X-Extension, 1991)
  - dient nur der *Ausgabe*, nicht der Decodierung
  - Funktionen: Skalierung, Farbraumkonvertierung
  - zwei typische Arten der Implementierung (auch gleichzeitig):
    - **Overlay**: blendet das Video direkt in die Bildschirmausgabe ein
    - **Textured Video**: zeichnet das Video mit der 3D-Hardware in den Framebuffer
- **XvMC** (X-Extension, 2000)
  - beschleunigt zwei spezielle Aspekte der MPEG-2-Decodierung: *Motion Compensation* (»MC«) und *IDCT* (8×8-Blocktransformation)
  - inzwischen obsolet
    - MPEG-2-spezifisch, nie für neuere Standards erweitert
    - nur von wenigen Treibern unterstützt

Hardwaredecodierung

Aktuelle GPUs enthalten *Hardwaredecoder* für einige Videostandards (u.a. H.264).

- mehrere konkurrierende APIs:
  - nVidia-proprietär: **VDPAU** (»Video Decode and Presentation API for Unix«)
    - sehr umfassend: Decodierung, Anzeige, Deinterlacing, …
  - AMD-proprietär: **XvBA** (»Xv Bitstream Acceleration«)
    - nur Decodierung, Anzeige per OpenGL
  - Intel: **VA-API** (»Video Acceleration API«)
    - Decodierung in DRI-Buffer
  - Embedded-Bereich: **OpenMAX**
    - Industriestandard für De- und Encoding
- Situation verbessert sich jedoch langsam:
  - VA-API-Backends für VDPAU und XvBA
  - Gallium3D-State Tracker für VDPAU und OpenMAX
  - Gallium3D-Backends für nVidia- und AMD-Hardwaredecoder



Hybridgrafik

Hybridgrafik

- Viele aktuelle Notebooks haben *zwei* Grafikeinheiten:
  - Prozessorgrafik (»integrierte« GPU – langsam, aber energiesparend)
  - zusätzliche (»dedizierte«) nVidia- oder AMD-GPU (schnell, aber stromfressend)
- **vga_switcheroo**: jeweils eine GPU wird abgeschaltet
  - Wechsel erfordert X-Server-Neustart
  - funktioniert nur bei Systemen mit »Video-Mux«,
    bei denen beide GPUs alle Videoaugänge bedienen können
  - Problem: neuere Modelle sind meist »muxless«
- proprietäre Treiber von AMD und nVidia haben inzwischen eigene Umschalter
  - basieren auf XRandR 1.4 (`xrandr --setprovideroutputsource`)
  - funktionieren auch mit »muxless« Systemen
  - aber: kopieren nur Ausgabe der dedizierten GPU auf integrierte GPU
    - keine Energiespareffekte (im Gegenteil – beide GPUs sind aktiv!)

Bumblebee und PRIME

Für nVidia-Hybridsysteme (»Optimus«) mit proprietärem Treiber existiert eine »echte« Hybridgrafiklösung: **Bumblebee**

- zunächst läuft nur die integrierte Grafik
- wenn ein Programm über den Wrapper `optirun` gestartet wird, wird:
  - die dedizierte GPU aktiviert
  - ein zweiter (unsichtbarer) X-Server mit dem nVidia-Treiber gestartet
  - alle OpenGL-Zeichenbefehle mittels **primus** an den zweiten X-Server umgeleitet
  - nach jedem Frame das fertige Bild vom nVidia- zum Intel-X-Server zurückkopiert

Lösung aus dem Open-Source-Umfeld: **PRIME**

- derzeit in Entwicklung
- Erweiterung des DMA-Buf-APIs für GPU-übergreifendes Buffer Sharing
- volles dynamisches »Offloading« von OpenGL-Zeichenoperationen
- Aktivierung mit `xrandr --setprovideroffloadsink`

Vielen Dank für Ihr Interesse!