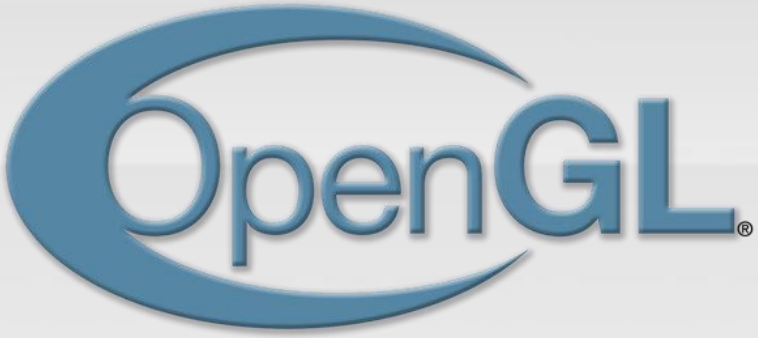
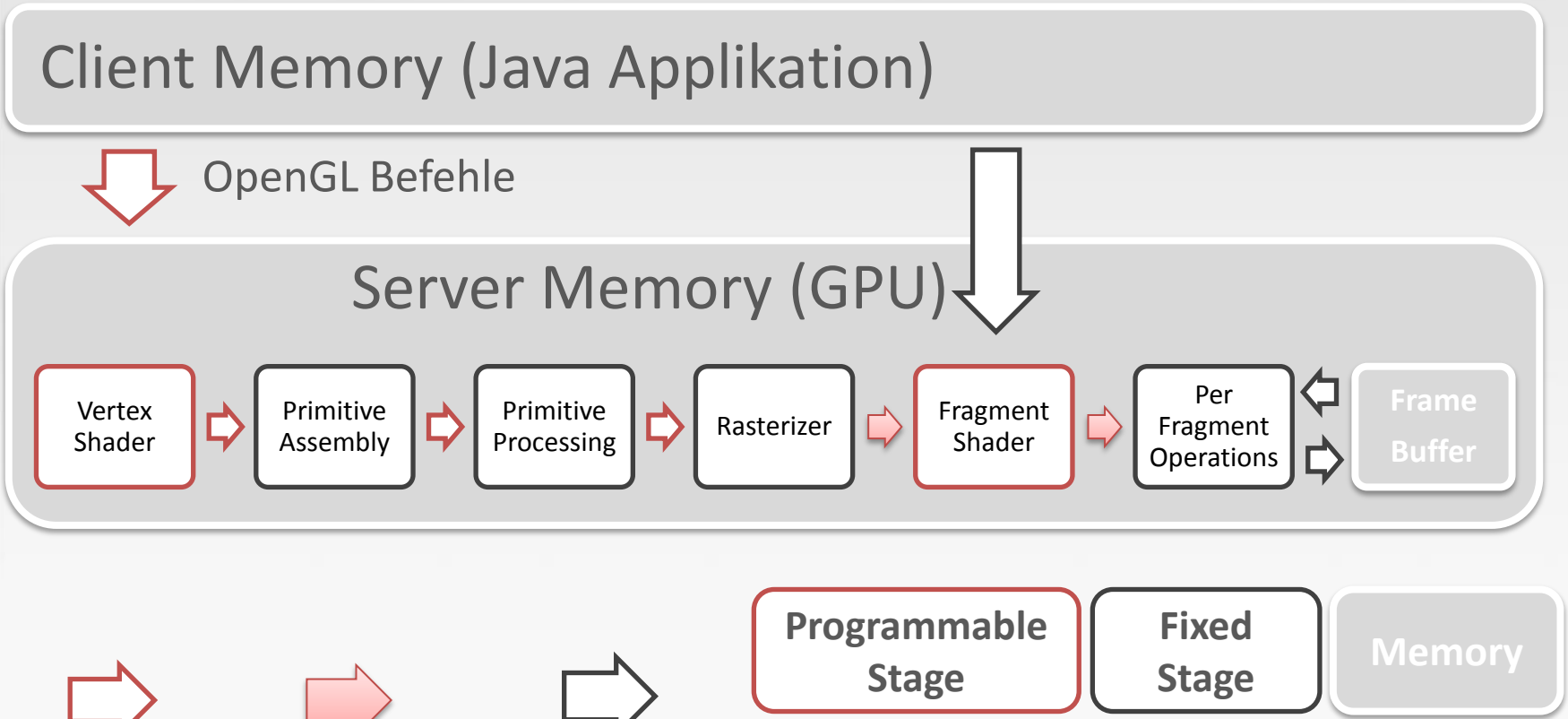


Spracheigenschaften und Syntax

Computergrafik SS14
Timo Bourdon

…was bisher geschah

Die OpenGL Graphics-Pipeline



Spracheigenschaften und Syntax

Aufgaben der GL-Befehle

- **Konfigurieren der Graphics Pipeline**
- **Datenübergabe an den Server (GPU)**
- **Steuerung des Datenflusses**

Spracheigenschaften und Syntax

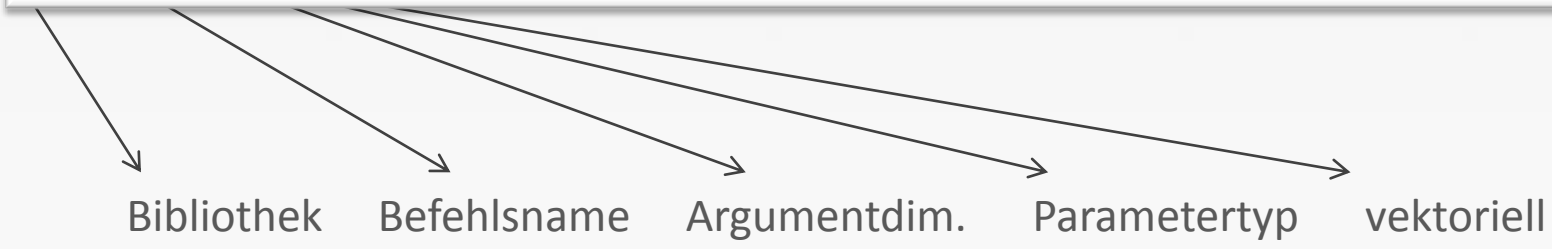
Aufbau der GL-Befehle

Einheitliche Form der Befehle

```
gl<Root Command>[arg count][arg type][v]
```

- Beginnen immer mit **gl**
- Gefolgt vom Befehlsnamen
- Anzahl und Art der Argumente (optional)
- Endung **v** weißt auf Pointer oder Arrays als Argumente hin (optional)

```
glUniform3iv(int location, int v0, int v1, int v2);
```



Spracheigenschaften und Syntax

Aufbau der GL-Befehle

Spezialisierung durch Konstanten `glEnable(…);`

- `GL_DEPTH_TEST`
- `GL_CULL_FACE`
- `GL_PRIMITIVE_RESTART`
- …

OpenGL spezifiziert eigene Datentypen, zur einheitlichen Verwendung der Befehle aus verschiedenen Sprachen

- Entsprechen C-Datentypen (GLFloat = C-Datentyp float)
- Buffer-Objects statt Pointer (für Datentransfer auf GPU)

Spracheigenschaften und Syntax

Aufbau der GL-Befehle

OpenGL Befehle beziehen sich auf:

- Übergebene Daten
- GL-State
- GL-Objekte (auch über Ids)

Spracheigenschaften und Syntax
Fehlerbehandlung

- Wichtig: OpenGL meldet selbstständig keine Fehler
- OpenGL besitzt ein Error-Flag
- Kann auf eine von 7 Fehlerkonstanten oder initial `GL_NO_ERROR` gesetzt werden
- Meldet eine GL-Funktion einen Fehler, wird entsprechende Konstante gesetzt
- Neuer Fehler: Alte Konstante wird überschrieben
- Konstante muss manuell abgefragt werden
- Anschließend gilt wieder `GL_NO_ERROR`

Spracheigenschaften und Syntax

Fehlerbehandlung

```
//Liefert Fehlerkonstante. Setzt danach Error-Flag auf 0
int glGetError();
```

```
//Mögliche Fehlerkonstanten. Jeweilige Bedeutung kann in
//der Dokumentation, z.B. GL Reference Pages, des
//verursachenden GL-Befehls nachgeschlagen werden.

0      GL_NO_ERROR
0x0500 GL_INVALID_ENUM
0x0501 GL_INVALID_VALUE
0x0502 GL_INVALID_OPERATION
0x0503 GL_STACK_OVERFLOW
0x0504 GL_STACK_UNDERFLOW
0x0505 GL_OUT_OF_MEMORY
0x0506 GL_INVALID_FRAMEBUFFER_OPERATION
```

Spracheigenschaften und Syntax
LWJGL

- Liefert zu jedem OpenGL Befehl einen Java Befehl gleichen Namens, der diesen ausführt

- **Beispiel**: Wrapper um den Befehl `glClearColor` der Klasse GL11 (vereinfacht)

```
//in Java formulierter LWJGL-Befehl

void org.lwjgl.opengl.GL11.glClearColor(float red, float green,
                                        float blue, float alpha){

//…ruft den systemnahen Original OpenGL-Befehl auf

void glClearColor(Glfloat red, GLFloat green,
                  Glfloat blue, Glfloat alpha);
```

Spracheigenschaften und Syntax

LWJGL

- Anbindung an das Fenstersystem
- Ermöglichen von Maus- und Keyboard Interaktion

- Code:

C:
```
glEnable(GL_DEPTH_TEST);
```
JOGL:
```
gl.glEnable(GL11.GL_DEPTH_TEST);
```
LWJGL:
```
glEnable(GL11.GL_DEPTH_TEST);
```

Spracheigenschaften und Syntax

CG12 Wrapper

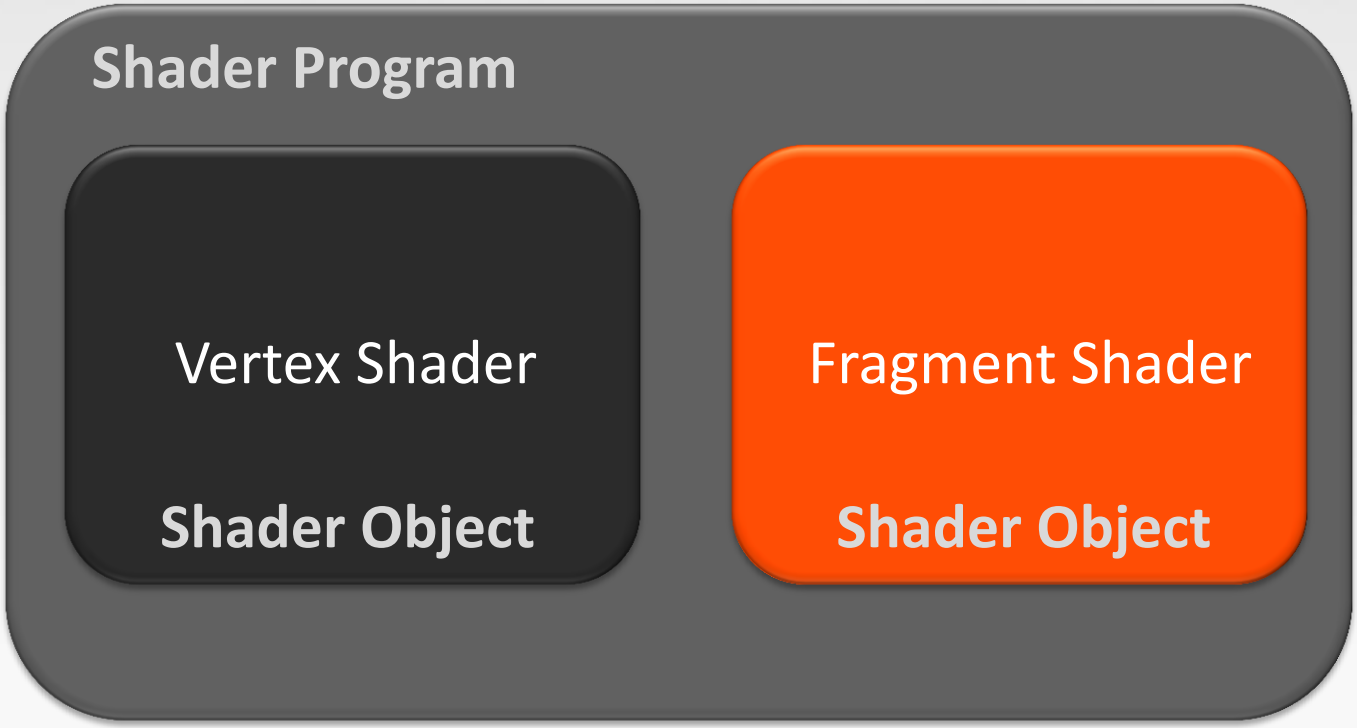
- Sammelt benötigte / erlaubte GL-Funktionen (ca. 50) und Konstanten in einer Klasse „GL“
- Führt (optional) Fehlerkontrolle aus

```
// Unser Wrapper…
void glClearColor(float red, float green,
                  float blue, float alpha){

        //…führt erst den entsprechenden LWJGL Befehl aus
        void GL11.glClearColor(float red, float green,
                               float blue, float alpha){

                // Der ruft den original Befehl auf
                glClearColor(…);
        }
        if(checkForErrors) // Anschließend wird, wenn true,
           checkError();   // eine Fehlerkontrolle durchgeführt
}
```

Spracheigenschaften und Syntax

Erzeugen eines Shader Programs

- Shader Program kapselt programmierbaren Teil der Graphics Pipeline



- Werden zur Laufzeit durch Grafikkartentreiber übersetzt

Spracheigenschaften und Syntax

Erzeugen eines Shader Objects

```
// Erzeugt ein leeres Shader Object. Liefert dessen ID.
// shaderType: Konstante zur Angabe der Shaderart
//             GL_VERTEX_SHADER, GL_FRAGMENT_SHADER, …
int glCreateShader (int shaderType);
```

```
// Hinzufügen des Sourcecodes zum bisher leeren Shader Object
glShaderSource(
        int shader,              // ID des Shader Objects
        String string);          // Source-Code des Shaders
```

```
// Übersetzen des Shader Objects mit der ID shader
glCompileShader(int shader);
```

```
// Beispiel: Erzeugen eines Vertex Shaders „myVS“
int myVS = glCreateShader(GL_VERTEX_SHADER);
glShaderSource(myVS, „version 330 core…“);
glCompileShader(myVS);
```

Spracheigenschaften und Syntax

Erzeugen eines Program Objects

```
// Erzeugt (leeres) Program Object und liefert dessen ID
int glCreateProgram();
```

```
// Hinzufügen eines Shader Objects zu einem Program Object

glAttachShader(
        int program,    // ID des Program Objects
        int shader);    // ID des Shader Objects
```

```
// Verbinden der einzelnen Module zu ausführbarem Programm
glLinkProgram(int program); // ID des Program Objects
```

Spracheigenschaften und Syntax

Erzeugen eines Program Objects

```
// Beispiel: Program Objects erzeugen, bestehend aus VS und FS
int myProgram = glCreateProgram()

// Erzeugen von VS und FS
int myVS = glCreateShader(GL_VERTEX_SHADER);
int myFS = glCreateShader(GL_FRAGMENT_SHADER);

// Shader Quellcode
glShaderSource(myVS, „version…“);
glShaderSource(myFS, „version…“);

// Shader Kompilierung
glCompileShader(myVS);
glCompileShader(myFS);

// Hinzufügen der Shader und Linken
glAttachShader(myProgram, myVS);
glAttachShader(myProgram, myFS);
glLinkProgram(myProgram)
```

Spracheigenschaften und Syntax

Verwenden des Program Objects

```
// Setzt das Program Object „program“ als Teil des Rendering State
// Anschließend besteht der programmierbare Teil der Pipeline aus
// den mit „program“ assoziierten Shadern

glUseProgram(int program);
```

```
// Beispiel: Verwendung des „program“ der letzten Folie

glUseProgram(myProgram);
```

Spracheigenschaften und Syntax

Uniform Variablen

- Im Shadern lesbare, globale Variablen
- Für alle Vertices und Fragments während eines Durchlaufs der Graphics-Pipeline konstant
- Schreibar aus Applikation heraus, lesbar in allen Shadern

Spracheigenschaften und Syntax

Uniform Variablen im Shader

```
#version 330

uniform mat4 model;

in vec4 vs_in_pos;

void main(){

  gl_Position = model * vec4(vs_in_pos, 1);

}
```

Spracheigenschaften und Syntax

Anbinden von Uniform Variablen

```
// Liefert einen Index eindeutig für das gelinkte Programm-Objekt
// welches die Shader enthält

int glGetUniformLocation(int program, String name);
```

```
// Anbinden eines 3-dim. Vektors an eine Uniform-Variable.
// Weitere Dimensionen in LWJGL möglich
glUniform3f(glGetUniformLocation(programID, „uLightDir"),
                                                0.0f, 0.1f, 0.0f);

// Bsp: Anbinden der Model-Matrix an eine Uniform-Variable. Siehe
// Vertex Shader Folie 16.
Matrix4f modelMat = new Matrix4f();
int uniformModelMatrix;
...
uniformModelMatrix = getUniformLocation(programID, „model");
matrix2uniform(modelMat, uniformModelMatrix);
```

Spracheigenschaften und Syntax

Uniform Variablen

```
Matrix4f matRotX = new Matrix4f();
Matrix4f modelMat = new Matrix4f();
private static int uniformModelMat;
...
public static void ... {

// Update Rotations-Matrizen
matRotX.rotate(float winkel, Vector3f X-Achse);

// Update Model-Matrix um Rotation
Matrix4f.mul(modelMat, matRot, modelMat);

// Bekanntmachung der Uniform-Variable mit Shader
uniformModelMat = glGetUniformLocation(programID, "model");

// Wertzuweisung an Uniform-Variable
matrix2uniform(modelMat, uniformModelMat);

}
```

Spracheigenschaften und Syntax

Vertex Daten anlegen und speichern

```
// Anlegen des Floatbuffers
FloatBuffer fb = BufferUtils.createFloatBuffer(int size);

// Anlegen des Float-Arrays für Vertices
float[] vertices = new float []{
   0.0f, 1.0f, 0.0f,...
};
// Übergabe der Vertices an den Buffer
fb.put(vertices);

// Analog Normalen
FloatBuffer nb = BufferUtils.createFloatBuffer(int size);
float[] normals = new float []{
        ...
};
nb.put(normals);

// Anlegen des IntBuffers: später!
IntBuffer ib = BufferUtils.createIntBuffer(int indexSize);
```

Spracheigenschaften und Syntax

Transfer der Daten nach OpenGL

```
// Erzeugt (leeres) Buffer Object und liefert ID
int glGenBuffers();


// Binden des Buffers

// GL_ARRAY_BUFFER:  Speicherung von VertexArray-Daten
// GL_ELEMENT_ARRAY: Speicherung von Indexdaten für Vertices

glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, int bufferObject_ID);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, bufferData, GL_STATIC_DRAW);
```

Spracheigenschaften und Syntax

Transfer der Daten nach OpenGL

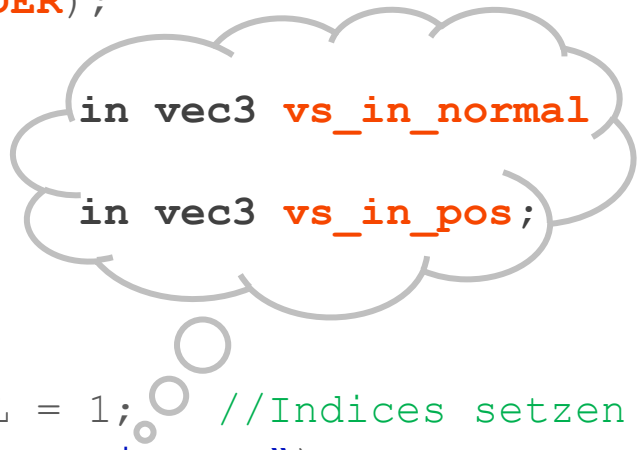
```
// Beispiel

// Vertices
int vboId = glGenBuffers();
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vboId);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, fb, GL_STATIC_DRAW);

// Analog für Normalen

// Indices
int iboId = glGenBuffers();
glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, iboId);
glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, ib, GL_STATIC_DRAW);
```

Spracheigenschaften und Syntax

Binden der Daten an Shader – **in**-Variablen

```
// Weißt einem Attribut des VS (=in-Variable) einen Index zu. Muss
// vor dem Linken des PO passieren und wirkt danach. Index muss
// für PO eindeutig sein. Attribut ansprechbar via Index
void glBindAttribLocation(int program, int index, String name);
```

```
int myProgram = glCreateProgram()
int myVS = glCreateShader(GL_VERTEX_SHADER);
int myFS = glCreateShader(GL_FRAGMENT_SHADER);
glShaderSource(myVS, „version…“);
glShaderSource(myFS, „version…“);
glCompileShader(myVS);
glCompileShader(myFS);
glAttachShader(myProgram, myVS);
glAttachShader(myProgram, myFS);

Static final int ATTR_POS = 0, ATTR_NORMAL = 1;   //Indices setzen
glBindAttribLocation(myProgram, ATTR_POS, „vs_in_pos“);
glBindAttribLocation(myProgram, ATTR_NORMAL, „vs_in_normal“);
glLinkProgram(myProgram)
```



Spracheigenschaften und Syntax

Aktivieren und Layout der Vertex Daten

```
// Aktiviert ein Vertex Attribute Array zum Attribute „index“
glEnableVertexAttribArray(int index);

// Beschreibt Layout der Daten des Attributs „index“ des gerade an
// GL_ARRAY_BUFFER (oder ELEMENT_ARRAY_BUFFER) angebundenen Buffer
// Objects.
glVertexAttribPointer(
        int index,      // Index des Attributs
        int size,       // Komponentenzahl des Attributs. {1,2,3,4}
        int type,       // Konstante für Datentyp
        int stride,     // Größe eines Arguments
   boolean normalized   // Normalisierte Werte
   long buffer_buffer_offset  //Offset des 1. Eintrags
);
```

Spracheigenschaften und Syntax

Aktivieren und Layout der Vertex Daten

```
// Beispiel für VertexBufferObjekt mit 3-dimensionalen Argumenten

// Bereits passiert:
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vboId);

Beschreibung der Vertex Daten des zuletzt gebundenen VertexBuffer
(Für die Normalen, Farben, und andere Vertex-Attribute analog)

glEnableVertexAttribArray(ATTR_POS);

glVertexAttribPointer(ATTR_POS,    // Index der Position
                      3,           // 3 Komponenten (x,y,z)
                      GL_FLOAT,    // Datentyp: Float
                      false,       // nicht nötig zu wissen
                      3*4,         // Eintrag-Größe (3 * 4 Byte)
                      0            // Offset 1. Eintrag
);
```

Spracheigenschaften und Syntax

```
// Beispiel
vboId = glGenBuffers();
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vboId);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, vBuffer, GL_STATIC_DRAW);

nboId = glGenBuffers();
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, nboId);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, nBuffer, GL_STATIC_DRAW);

iboId = glGenBuffers();
glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, iboId);
glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, iBuffer, GL_STATIC_DRAW);

glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vboId);
glEnableVertexAttribArray(ATTR_POS);
glVertexAttribPointer(ATTR_POS, 3, GL_FLOAT, false,  12, 0);

glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, nboId);
glEnableVertexAttribArray(ATTR_NORMAL);
glVertexAttribPointer(ATTR_NORMAL, 3, GL_FLOAT, false, 12, 0);
```

Spracheigenschaften und Syntax

Rendering

```
// Binden des Index-Buffers
glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, iboId);

glDrawElements(
        int topology,           // GL_LINE, GL_TRIANGLES, etc.
        int indices_count,      // Anzahl Indices
        int type,               // Datentyp der Indices
        long indices_buffer_offset
);

// Beispiel

glDrawElements(GL_TRIANGLES,
               ib.capacity(),
               GL_UNSIGNED_INT,
               0
);
```

OpenGL Einschub: Topologien

Vertices und ihre Indizes

Verschiedene Indizierungstechniken für Folge von Vertices bzw. Indices möglich

Gegeben:

- Vertex-Buffer, mit Daten jedes Vertices (Koordinaten,…)
- Index-Buffer, legt Reihenfolge fest und kann Index eines Vertices mehrmals enthalten. Hier 6 Indices

Vertex Buffer

V_0 X	V_0 Y	V_0 Z	V_1 X	V_1 Y	V_1 Z	V_2 X	V_2 Y	V_2 Z	V_3 X	V_3 Y	V_3 Z	V_4 X	V_4 Y	V_4 Z	V_5 X	V_5 Y	V_5 Z

Index Buffer

0	1	2	3	4	5

OpenGL Einschub: Topologien

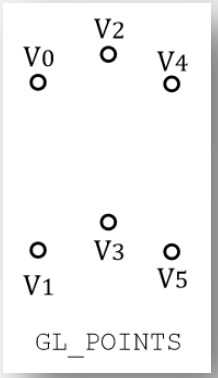
Vertices und ihre Indizes

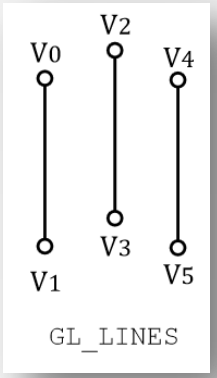
Vertex Buffer

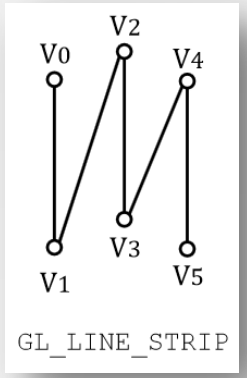
V_0 X	V_0 Y	V_0 Z	V_1 X	V_1 Y	V_1 Z	V_2 X	V_2 Y	V_2 Z	V_3 X	V_3 Y	V_3 Z	V_4 X	V_4 Y	V_4 Z	V_5 X	V_5 Y	V_5 Z

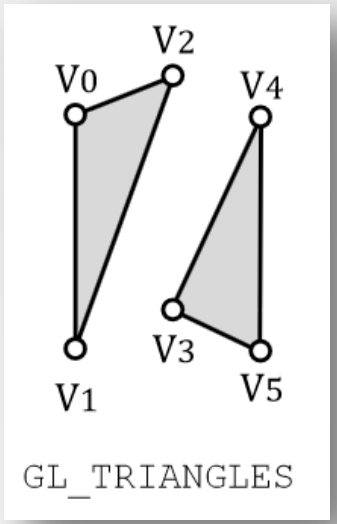
Index Buffer

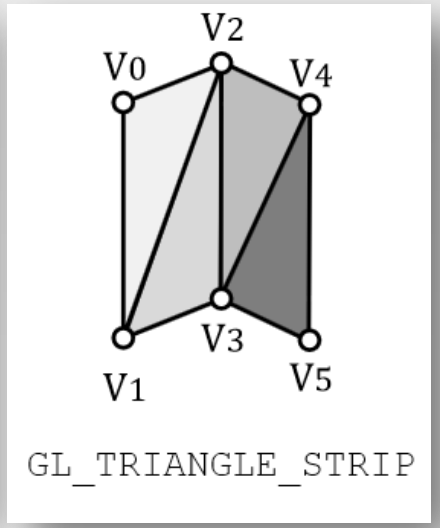
0	1	2	3	4	5











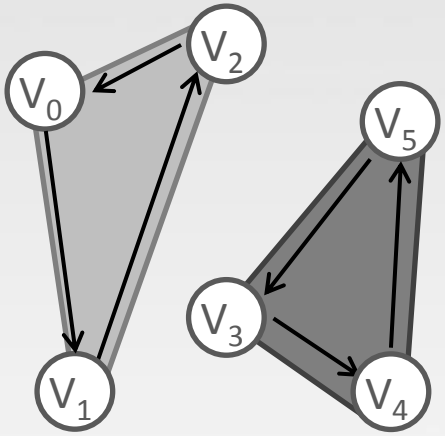
OpenGL Einschub: Topologien und Dreiecke

Vertices und ihre Indizes

Achtung: Bei Dreiecken Indexreihenfolge beachten

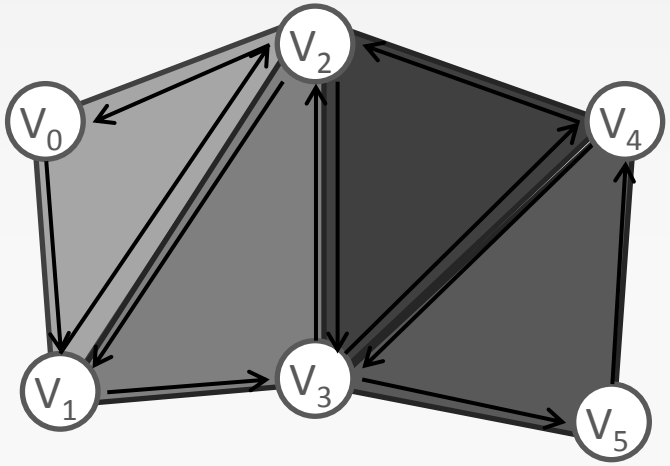
GL_TRIANGLES

- 1. Dreieck: V_0, V_1, V_2
- 2. Dreieck: V_3, V_4, V_5
- …



GL_TRIANGLE_STRIP

- 1. Dreieck: V_0, V_1, V_2
- 2. Dreieck: V_2, V_1, V_3
- 3. Dreieck: V_2, V_3, V_4
- …



OpenGL Einschub: Topologien und Meshes

GL_TRIANGLES

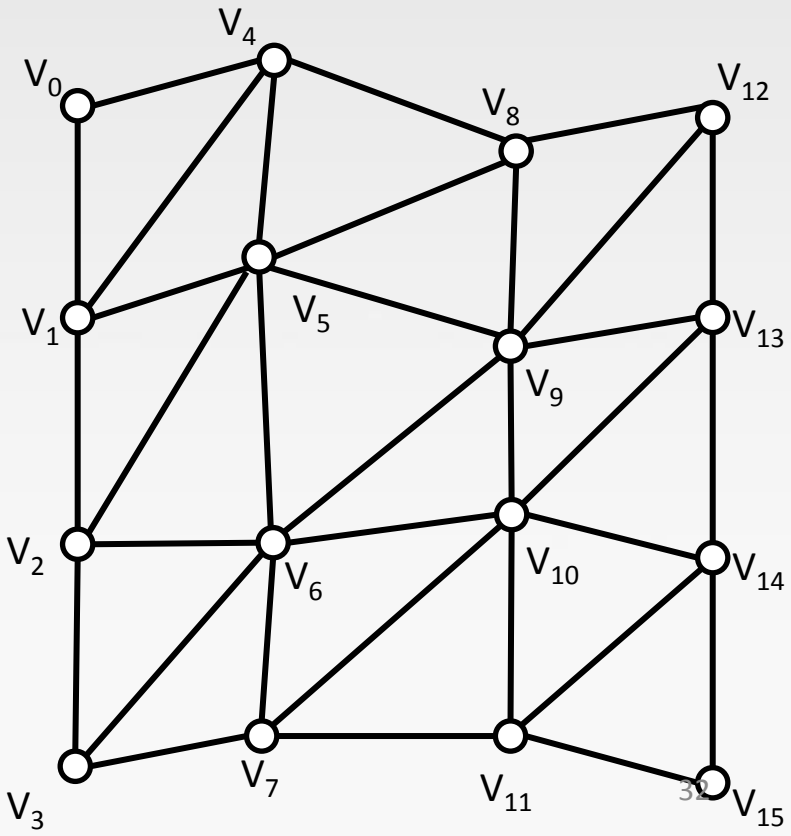
Vertex Buffer

V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{14}	V_{15}

Index Buffer

0	1	4	4	1	5	8	4	5
8	5	9	12	8	9	12	9	13
1	2	5	5	2	6	9	5	6
9	6	10	13	9	10	13	10	14
2	3	6	6	3	7	10	6	7
10	7	11	14	10	11	14	11	15

54 Indices



OpenGL Einschub: Topologien und Meshes

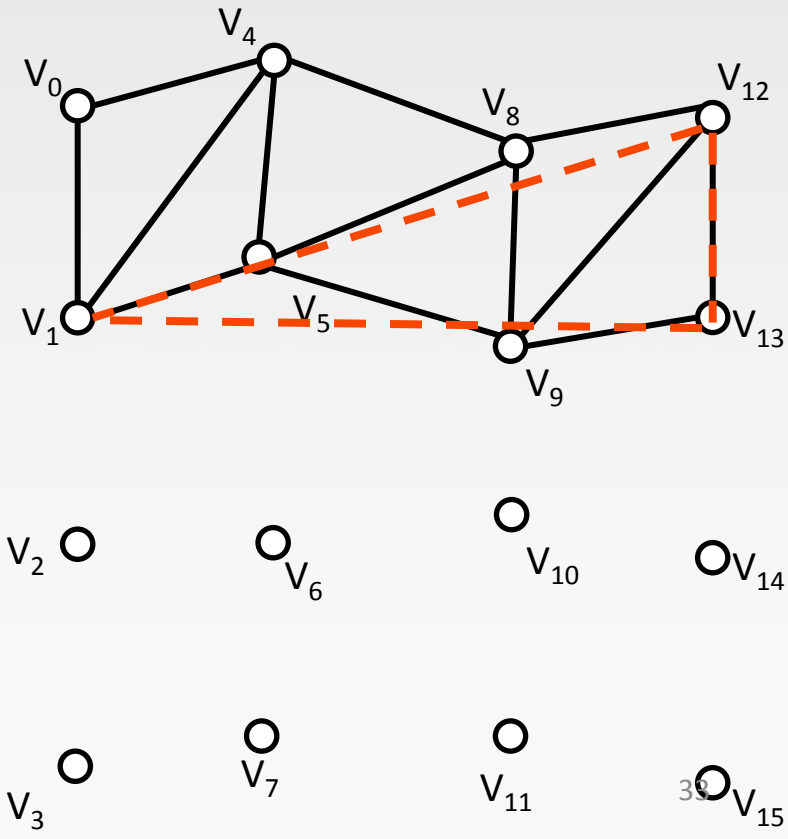
GL_TRIANGLE_STRIP

Vertex Buffer

V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{14}	V_{15}

Index Buffer

0	1	4	5	8	9	12	13	1
2	5	6	9	10	14	…		



OpenGL Einschub: Topologien und Meshes

GL_TRIANGLE_STRIP + + Primitive Restart Index

Vertex Buffer

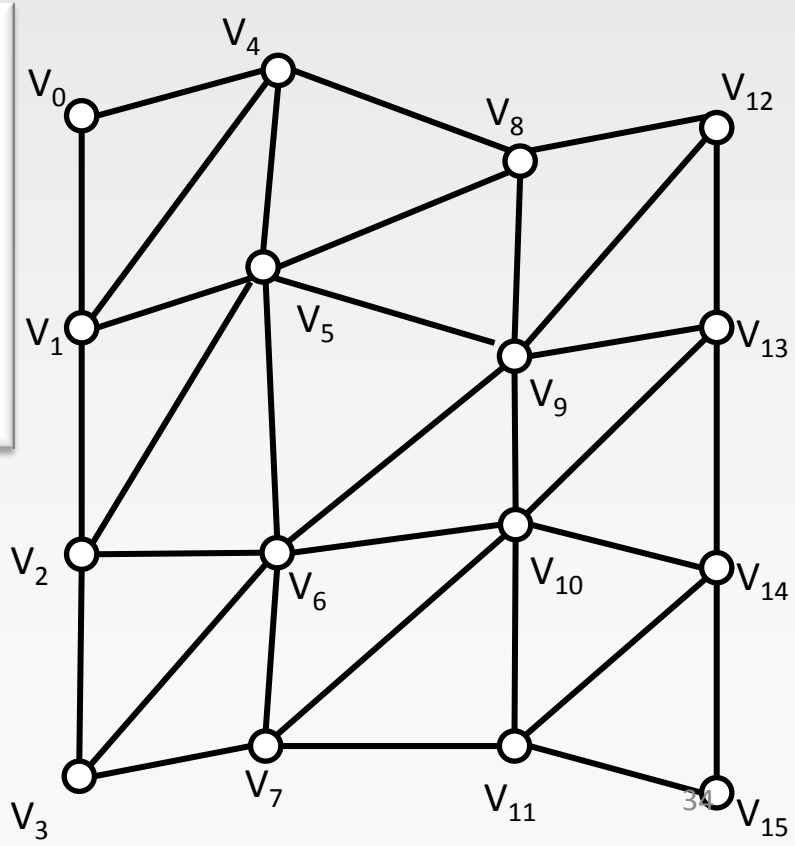
V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{14}	V_{15}

```
// aktiviert PR
glEnable(GL_PRIMITIVE_RESTART);
// Definiere PR Index
int RESTART_INDEX = -1;

// Setzt den PR-Index auf -1. Anschließend
// bewirkt ein Eintrag -1 im IndexBuffer ein
// Absetzen / Neustarten der aktuellen
// Primitve-Kette
glPrimitiveRestartIndex(RESTART_INDEX)
```

Index Buffer

0	1	4	5	8	9	12	13	-1
1	2	5	6	9	10	13	14	-1
2	3	6	7	10	11	14	15	

27 Indices



GLSL Basics

Spracheigenschaften und Syntax

GLSL Programm-Grundaufbau

```
// Gibt die GLSL-Version an, hier 3.3 (gehört zu OpenGL 3.3)
// sowie die Beschränkung auf das Core Profile

#version 330 core
in      <varType><varName>     // Hereinkommende Daten
out     <varType><varName>     // Zu schreibende Daten

// Ausführung des Shaders beginnt hier

void main(){

// Führe Berechnungen v.a. basierend auf "in" Variablen durch
// und schreibe Ergebnisse mit "out" Variablen raus
// Andere Berechnungen sind lokal und haben keine Auswirkungen

}
```

Spracheigenschaften und Syntax

GLSL Skalare Datentypen

```
#version 330 core

void main(void){

// Deklaration und Initialisierung einiger skalarer Typen

        bool done = false;                  // Boolean
        int price = 90;                     // Integer
        uint possiblyHigherPrice = 90000;   // Unsigned Integer
        float cost = 90.0;                  // Float (Standard)
        double moreCost = 90000.0;          // Double
        …
// Type Conversion

int exactValue = 3;
float PI = float(exactValue); // Cast Integer -> Float
}
```

Spracheigenschaften und Syntax

GLSL Vektorielle Datentypen

```
// Deklaration und Initialisierung einiger vektorieller Typen

vec3 a = vec3(0.9, 0.0, 0.0);       // 3-float Vektor
vec4 b = vec4(0.0, 0.0, 0.0, 9.0); // 4-float Vektor
ivec3 c = ivec3(0, 9, 0);           // 3-int Vektor
vec4 d = vec4(1.0);          // 4-float Vektor, alle Komponenten 1
vec4 e = vec4(b);            // initialisiere e mit Werten von b
…

// Zugriff auf Komponenten mit [xyzw] oder [rgba]

e.y              // Liefert zweite Komponente von e
e.g              // Liefert ebenfalls zweite Komponente von e
e.b = 2.0;       // Setzt dritte Komponente von e auf 2.0
e.yz             // Liefert vec2(e.y, e.z)
e.zyx            // Liefert vec3(e.z, e.y, e.x)
```

Spracheigenschaften und Syntax

GLSL Matrix Datentypen

```
// Deklaration und Initialisierung einiger Matrix Typen
// Setzt eine 2x3 Matrix in Column-Major-Order
mat2x3 aMatrix = mat2x3(1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0);

// mat2x3 aMatrix hat also die Form:
```

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 4.0 \\ 2.0 & 5.0 \\ 3.0 & 6.0 \end{pmatrix}$$

```
// weitere float Matrizen:
mat2 (auch: mat2x2), mat3x2, mat3, mat3x4, mat4x3, mat4

// Zugriff auf Komponenten
aMatrix[0]    // Liefert Spalte 0 der Matrix: vec3(1.0, 2.0, 3.0)
aMatrix[1][2] // Liefert Element[1][2] der Matrix: 6.0
aMatrix[1] = vec3(7.0, 8.0, 9.0); // Setzt Spalte 1 der Matrix

// aMatrix hat dann die Form:
```

$$\begin{pmatrix} 1.0 & 7.0 \\ 2.0 & 8.0 \\ 3.0 & 9.0 \end{pmatrix}$$

Spracheigenschaften und Syntax

GLSL Operatoren

```
// Typische Operatoren wie +,-, *, /, ++, %, ==, <, &, |, !
// verhalten sich bei Skalaren wie von Java gewohnt.

vec3 a = vec3(1.0, 0.0, 0.0), b = vec3(0.0, 1.0, 0.0), c;
float s = 0.5;

c = a + b; // ergibt c = vec3(a.x+b.x, a.y+b.y, a.z+b.z);
c = a * b; // ergibt c = vec3(a.x*b.x, a.y*b.y, a.z*b.z);
c = a * s; // ergibt c = vec3(a.x * s, a.y * s, a.z * s);
c = a + s; // ergibt c = vec3(a.x + s, a.y + s, a.z + s);

// Ausnahme: * ist bei 2 Matrizen oder Vektor * Matrix die
// bekannte Matrizenmultiplikation

Mat2x3 x; Mat3x4 y;
x * y; // Ergibt mat2x4
y * x; // Nicht möglich, aus Dimensionsgründen
```

Spracheigenschaften und Syntax

GLSL Flusskontrolle

```
// if, if-else und switch, wie aus Java bekannt,
// aber oft für GPUs aufwendig

if(condition)
    do something;
else
    do something else;

// Ebenso for, while und do-while Schleifen. Es dürfen keine
// Variablen im Körper deklariert werden.

for(int i=0; i<10; i++){
    do something;
}

// Funktionen ähneln Java Methoden, erlauben aber keine Rekursion.
float product(float a, float b){
    return a * b;
}
```

Spracheigenschaften und Syntax

GLSL Built-in Funktionen

```
// GLSL beinhaltet einige mathematische und vektorielle
// Funktionen. Beispiele:

float sin(float radians) // Trigonometrische Funktion(en)

float pow(float x, float y)    // berechnet x^y

float sqrt(float x)            // Berechnet Wurzel aus x

float length(vec4 x)           // Betrag eines Vektors

float dot(vec4 a, vec4 b)      // Skalarprodukt aus a und b

vec4 normalize(vec4 x)         // Liefert normalisierten Vektor

vec3 cross(vec3 a, vec3 b)     // Kreuzprodukt a x b (nur für vec3)

mat4 inverse(mat4 a)       // Inverse Matrix, ab GLSL 1.50 / GL 3.2
```

Viel Erfolg!