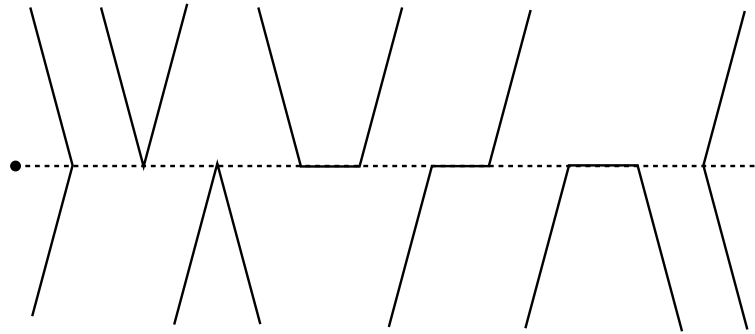


Test-Strahl liegen, ist es notwendig die Sonderfälle zu betrachten, die in Abbildung 2.3 dargestellt sind.



**Abbildung 2.3:** Sonderfälle des Punkts in Polygon Algorithmus

Die Umgehung dieses Problems liegt in der Annahme, dass der Polygon-Vertex infinitesimal über dem Test-Strahl liegt. Durch dieses Vorgehen wird zusätzlich festgelegt, zu welchem Polygon ein Pixel gehört, sollten zwei Polygone einen oder mehrere Vertices gemeinsam haben. [Vor10, S. 51ff.]

## 2.4 Marching Cubes - Algorithmus

### 2.4.1 Bedeutung

Der Marching Cubes Algorithmus wurde im Jahr 1987 im Auftrag der General Electric Company von Lorensen und Cline entwickelt, um ein effizienteres Verfahren zur Visualisierung medizinischer Messdaten bereitzustellen. [LC87] Dabei wurde bis zum damaligen Zeitpunkt meist auf 2-dimensionale Bilddaten von bildgebenden Verfahren wie zum Beispiel der Computertomografie (CT) oder der Magnetresonanztomografie (MRT) zurückgegriffen. Da das Analysieren und Interpretieren dieser 2-dimensionalen Bilder (Scheiben oder Schichten) besondere Schulung und Erfahrung bedarf, bietet der Marching Cubes Algorithmus eine aussagekräftige, 3-dimensionale Repräsentation der evaluierten Messdaten zur Unterstützung von Medizinern in den unterschiedlichsten Bereichen.

Die vom CT bzw. MRT erzeugten Volumendaten liegen in Form von Voxel-Datenmengen vor. Das heißt, dass in regelmäßigen Abständen die Dichte des Materials ermittelt und gespeichert wird, wodurch ein gleichmäßiges 3-dimensionales Datengitter generiert wird. Die Nachteile eines solchen Modells sind der enorme Speicherbedarf und die langsame Visualisierung im Vergleich zu einfachen Drahtgittermodellen.

Der Marching Cubes Algorithmus ermöglicht nun die zuvor genannten Voxel-Datenmengen durch ein polygonales Oberflächenmodell anzunähern und somit effizient zu visualisieren.

### 2.4.2 Funktionsweise

Der Marching Cubes Algorithmus verfolgt einen Divide-and-Conquer-Ansatz. Um die gegebenen Volumen-Daten zu Triangulieren betrachtet man zunächst zwei benachbarte bzw. direkt übereinanderliegende Schichten oder Ebenen. In einem nächsten Schritt werden vier benachbarte Voxel auf der unteren Ebene  $z$  so miteinander verbunden, dass sie ein Quadrat ergeben. Danach bilden diese mit den genau darüberliegenden Voxeln der Ebene  $z+1$  einen imaginären Würfel (siehe Abbildung 2.4).

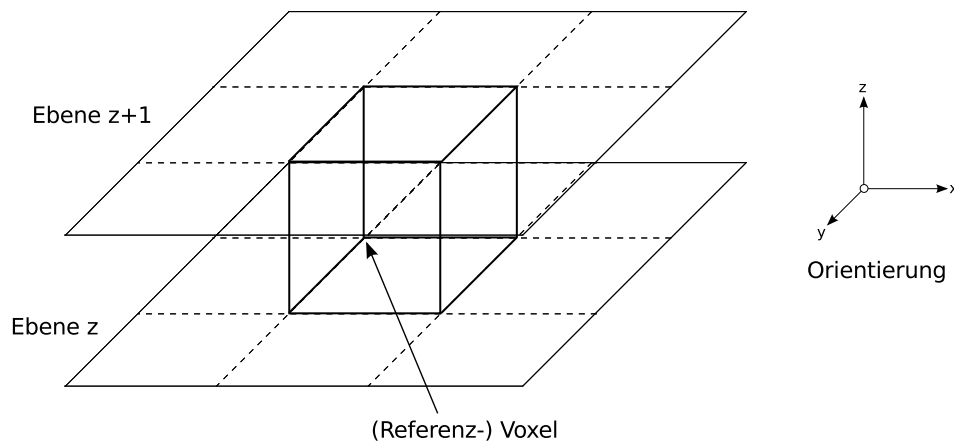


Abbildung 2.4: Marching Cube

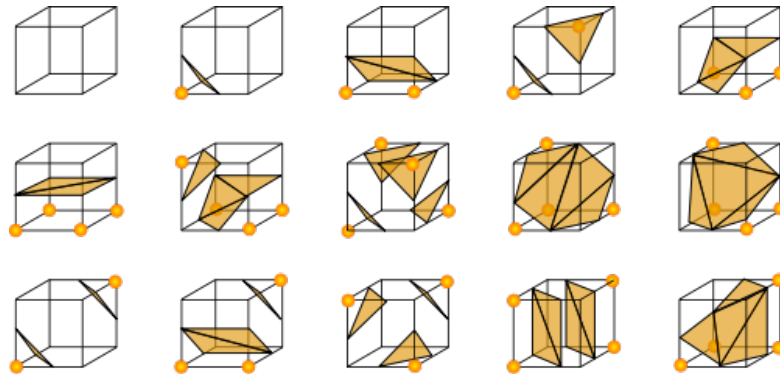
Dabei gibt es meist einen Referenzvoxel von dem aus die restlichen Kubusecken mit Hilfe eines Offsets bestimmt werden.

Damit anschließend eine Oberfläche generiert werden kann wird für jeden Eckpunkt geprüft, ob dieser innerhalb oder außerhalb des betrachteten Objektes liegt, was anhand der Dichtewerte bestimmt werden kann. Liegen alle Eckpunkte innerhalb oder außerhalb, so muss dieser Würfel nicht weiter untersucht werden und es wird zum Nächsten "marschiert". Liegt hingegen ein Schnittpunkt des Kubus mit der Objektoberfläche vor, so teilt diese den Marching Cube unweigerlich in Innen- und Außenbereiche auf.

Da der Würfel acht Eckpunkte besitzt und jeder Eckpunkt zwei Zustände haben kann, gibt es genau  $2^8 = 256$  Möglichkeiten den Kubus zu zerteilen. Aus Symmetriegründen können diese 256 Fälle auf die in Abbildung 2.5[Wik12] dargestellten 15 reduziert werden.

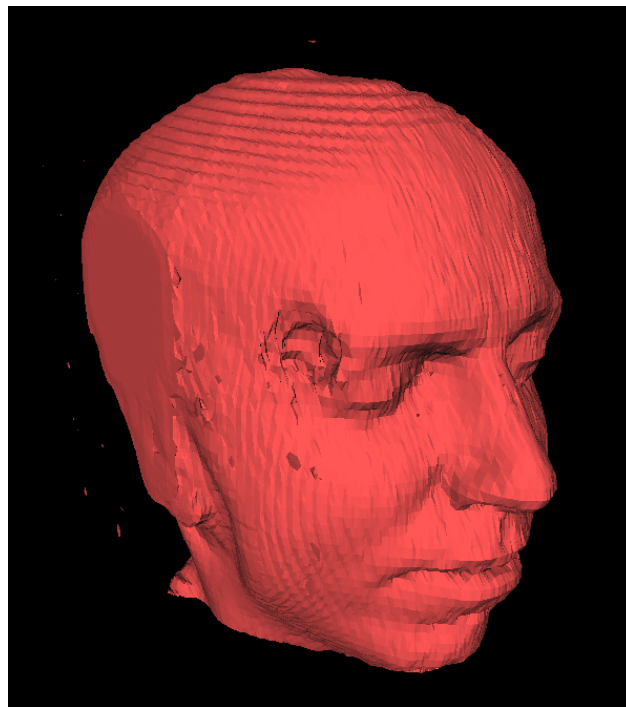
Sind schließlich die Zustände aller beteiligten Voxel bestimmt, so wird in einer Tabelle, der sogenannten **TriangleLookupTable** nachgesehen, welche Dreiecke in dem vorliegenden Fall gezeichnet werden müssen. In dem Kapitel 3.5 wird noch genauer auf die **TriangleLookupTable** eingegangen.

Wahlweise können für eine bessere Annäherung an das Ursprungsobjekt die Oberflächenpunkte entsprechend interpoliert werden. Ansonsten wird für die Berechnung der Dreiecke immer von der Mitte einer Würfelkante ausgegangen. Zur besseren Darstellung (Beleuchtung) lassen sich daraufhin die Einheitsnormalen berechnen.



**Abbildung 2.5:** Marching Cube - Schnittmöglichkeiten

Ein Beispiel für die Visualisierung eines aus 150 Schichten bestehenden MRT-Modells soll die Abbildung 2.6 geben, in der die Annäherung an einen Kopf deutlich zu erkennen ist.



**Abbildung 2.6:** Marching Cubes - Polygonmodell eines Kopfes