

# Image - Morphing

Andreas Ursprunger

---

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
  2. Morphing
    - 2.1 Referenzlinien
    - 2.2 Arbeitsschritte zur Bilderzeugung
    - 2.3 Wirkung der Referenzlinienpaare
      - 2.3.1 Transformation mit einem Referenzlinienpaar
      - 2.3.2 Transformation mit mehreren Referenzlinienpaaren
  3. Probleme
  4. Zusammenfassung
- 

## 1 Einleitung

Morphing ist eine faszinierende Art und Weise Übergänge zwischen Bildern zu erstellen. Die Computergrafik bietet diesbezüglich eine Menge von hilfreichen Methoden und Techniken an, die, unterstützt von leistungsstarker Hardware, vor allem in der Unterhaltungsindustrie ihre Anwendung finden.

Vor allem in der Filmbranche als Teilgebiet der Unterhaltungsindustrie wird Morphing verwendet. Sei es die mystische Verwandlung einer zierlichen Fledermaus in einen blutrünstigen Vampir, oder eine zerstörungswütige Maschine aus der Zukunft, die beliebige Formen annehmen kann. - Ohne technische Hilfsmittel würden diese großartigen Ideen hauptsächlich nur auf dem Papier existieren.

In der Steinzeit des Filmmachens wußte man sich durch oftmaliges Aufbauen und Fotografieren einer Szene, in Verbindung mit aufwendigen Filmschnitten, zu helfen. Heute werden dreidimensionale Computermodelle aus tausenden von Polygonen erstellt, und deren Transformation über die Zeit gerendert und aufgezeichnet.

Oftmals ist das Modellieren einer Szene, die komplexe Objekte wie Menschen und Tiere beinhaltet, zu aufwendig, und kann vermieden werden, indem man gescannte Bilder der Szene manipuliert. Man verlagert also das Problem vom dreidimensionalen in den zweidimensionalen Raum, wo sämtliche Information über konkrete Formen verloren geht, und nur mehr Bildpunkte existieren.

Dieser Artikel beschäftigt sich in der Folge mit der Erzeugung von neuen zweidimensionalen Bildern aus den Bildpunkten zweidimensionaler Quellbilder.

---

## 2 Morphing

Eine einfache Methode einen Übergang zwischen zwei Bildern zu erzeugen, ist einfach alle

korrespondierenden Pixel zu überblenden, also Pixeleigenschaften wie Farbe und Helligkeit Schritt für Schritt zu interpolieren. Das Resultat dieses "Morphs" ist bei unbeweglichen Szenen akzeptabel, aber eher ungeeignet, sollten realistische Transformationen und Deformationen das Ergebnis sein.

Der typische Morph-Prozess besteht aus der **Verzerrung** zweier Bilder, um ihre Konturen zur Übereinstimmung zu bringen, und einer anschließenden **Überblendung** der Pixelattribute. Zu Beginn des Überganges sieht das resultierende Bild dem ersten Quellbild sehr ähnlich, wird aber zusehends in Richtung des zweiten Quellbildes verzerrt und überblendet. Gegen Ende des Prozesses nimmt das resultierende Bild Form und Farbe des zweiten Quellbildes an.

Die Frage ist, wie erreicht man eine gleichmäßig wirkende Verzerrung der Bildinhalte, damit sich ein stufenloser Übergang zwischen den Bildern ergibt.

## 2.1 Referenzlinien

Durch Einführen von Referenzlinienpaaren als einfache Kontrollprimitive, wird es ermöglicht einzelne Bildbereiche zu verzerren und somit den Verlauf der Konturen im Bild zu beeinflussen. Diese Methode wird bezeichnet als "Field-Morphing", da jede Referenzlinie ein gewisses Einflußfeld besitzt, in der die darinliegenden Pixel mehr oder weniger stark von ihr beeinflusst werden. Abbildung 1 zeigt, wie mehrere Referenzlinienpaare den Verlauf der Konturen in den Bildern beschreiben.

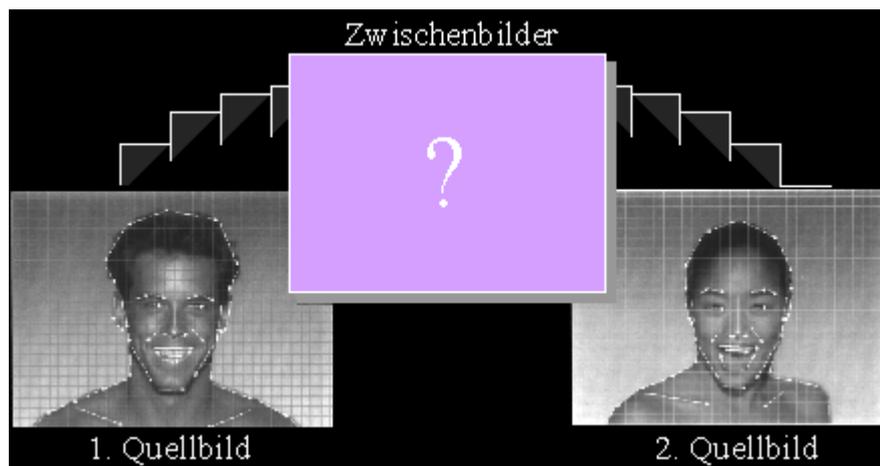


Abbildung 1: Referenzlinienpaare

Ein Referenzlinienpaar ergibt sich immer aus einer Referenzlinie des ersten Quellbildes und einer Referenzlinie des zweiten Quellbildes, und wird vom Animator manuell festgelegt. Wie man in Abbildung 1 erkennen kann liegen die Referenzlinien (weiße Pfeile) genau an den Konturen und in markanten Bereichen der Gesichter.

## 2.2 Arbeitsschritte zur Bilderzeugung

Aus zwei Quellbildern können beliebig viele Zwischenbilder durch entsprechende Festlegung der Interpolationsschritte erzeugt werden.

Die notwendigen Arbeitsschritte zur Bilderzeugung sehen im Überblick folgendermaßen aus:

1. **Festlegung der Referenzlinienpaare.** Die Referenzlinien stellen quasi das Werkzeug zur (Ver)formung von Bildbereichen dar, und werden, wie bereits in Kapitel 2.1

beschrieben, an Konturen und markanten Bereichen festgelegt.

2. **Interpolation der Referenzlinienpositionen.** Je nach der gewünschten Anzahl der Zwischenbilder wird die Schrittweite der Interpolationen festgelegt. Wird nur ein Zwischenbild gewünscht, das zu 50 % dem ersten, und zu 50 % dem zweiten Quellbild ähnlich sehen soll, ist nur ein Interpolationsschritt durchzuführen, in dem alle Beginn- und Endkoordinaten der Referenzlinien paarweise interpoliert werden. Als Ergebnis entsteht ein neuer Satz an Referenzlinien im Zwischenbild.
3. **Bestimmen der Pixeleigenschaften im Zwischenbild.** Jedes Pixel im Zwischenbild erhält Eigenschaften von je einem Pixel in den Quellbildern, wobei zur Lokalisierung der entsprechenden Quellbildpixel die Referenzlinienpaare verwendet werden. Dieser Arbeitsschritt wird in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich dargestellt. Als Ergebnis erhält man pro Zwischenbildpixel zwei Quellbildpixel.
4. **Mischen der beiden Pixeleigenschaften.** Je nach den festgelegten Interpolationsschritten, werden die Eigenschaften der Pixel im Zwischenbild aus den Eigenschaften der zuvor erhaltenen Quellbildpixel berechnet. Damit ist der Morph-Prozess beendet.

Die so erzeugten Zwischenbilder sollten bei einiger Erfahrung im Positionieren der Referenzlinien gleichmäßige Kontur- und Farbverläufe aufweisen und sehr realitätsnah wirken.

## 2.3 Wirkung der Referenzlinienpaare

Aus dem 3. Arbeitsschritt zur Bilderzeugung ergibt sich folgende Ausgangssituation: Es existieren 2 Quellbilder mit den von Hand festgelegten Referenzlinien, und ein oder mehrere Zwischenbilder mit den interpolierten Referenzlinien. Jedoch sind die Zwischenbilder noch "leer", d.h. es sind noch keine Pixelattribute eingestellt.

Die Pixel im Zwischenbild werden unter Zuhilfenahme der Referenzlinien aus den Quellbildern ermittelt. So erhält man für jedes Pixel im Zwischenbild zwei Pixel aus den Quellbildern, mit denen im 4. Arbeitsschritt zur Bilderzeugung die endgültige Pixelfarbe berechnet wird.

Das Verfahren für das Auffinden der Pixel wird in den beiden nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

### 2.3.1 Transformation mit einem Referenzlinienpaar

Wie bereits erwähnt, dienen die Referenzlinienpaare als Hilfsmittel zur richtigen Zuordnung eines Pixels im Zwischenbild zu einem Pixel im Quellbild. Das Verfahren, in dem vom Zwischenbildpixel ausgehend das Quellbildpixel gesucht wird, bezeichnet man als "Reverse-Mapping", das im Vergleich zum "Forward-Mapping" (wo vom Quellbildpixel ausgehend das Zwischenbildpixel gesucht wird) den Vorteil besitzt, daß alle Pixel im Zwischenbild durchlaufen werden, und somit Attribute erhalten.

Die Referenzlinien wurden eingeführt um Verzerrungen (Synonym: Transformationen) zu realisieren. In Abbildung 2 ist dargestellt, wie das Quellbild mit einem Referenzlinienpaar transformiert werden kann.

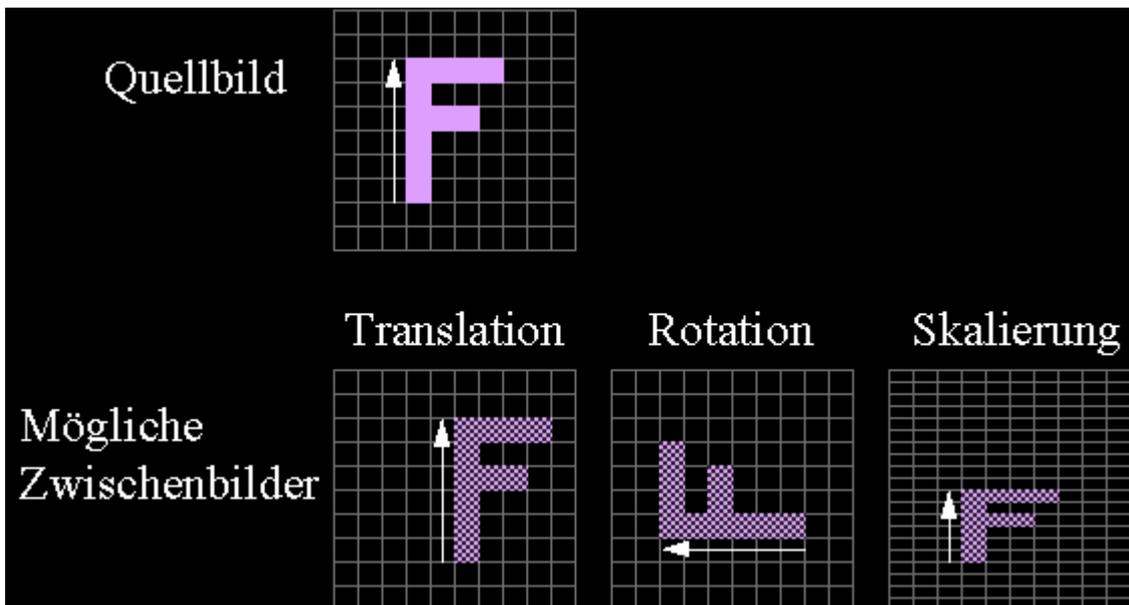


Abbildung 2: Transformation mit einem Referenzlinienpaar

Bei entsprechender Position der Referenzlinie im Zwischenbild sind neben den elementaren Transformationen (Translation, Rotation und Skalierung) alle Kombinationen daraus möglich.

Der Reverse-Mapping-Algorithmus mit einem Referenzlinienpaar sieht in Pseudocode folgendermaßen aus:

```

Für jedes Pixel  $\mathbf{x}$  im Zwischenbild
    berechne  $\mathbf{u}$  und  $\mathbf{v}$ 
    finde das Pixel  $\mathbf{x}'$  im Quellbild f. d. berechnete  $\mathbf{u}$  und  $\mathbf{v}$ 
    Attribute von  $\mathbf{x} :=$  Attribute von  $\mathbf{x}'$ 
  
```

Dabei ist  $\mathbf{v}$  der Abstand des Pixels zur Referenzlinie und  $\mathbf{u}$  das Verhältnis, in dem der Fußpunkt der Normalen die Referenzlinie teilt. Zu beachten ist, daß die Variable  $\mathbf{u}$  auf die Länge der Referenzlinie normiert wird, um Skalierungen entlang der Referenzlinie zu ermöglichen. Durch empirische Versuche wurde ermittelt, daß eine Skalierung in Richtung  $\mathbf{v}$  nicht sinnvoll ist. Einheiten:  $[\mathbf{u}] = 1$ ;  $[\mathbf{v}] = \text{Pixel}$

Die Werte für  $\mathbf{u}$  ergeben sich daher wie folgt:

$0 \leq \mathbf{u} \leq 1$ , für Punkte entlang der Referenzlinie.

$\mathbf{u} < 0$ , für Punkte die in der gedachten Verlängerung der Referenzlinie unterhalb von P liegen.

$\mathbf{u} > 1$ , für Punkte die in der gedachten Verlängerung der Referenzlinie oberhalb von Q liegen.

In Abbildung 3 ist die Vorgehensweise grafisch dargestellt.

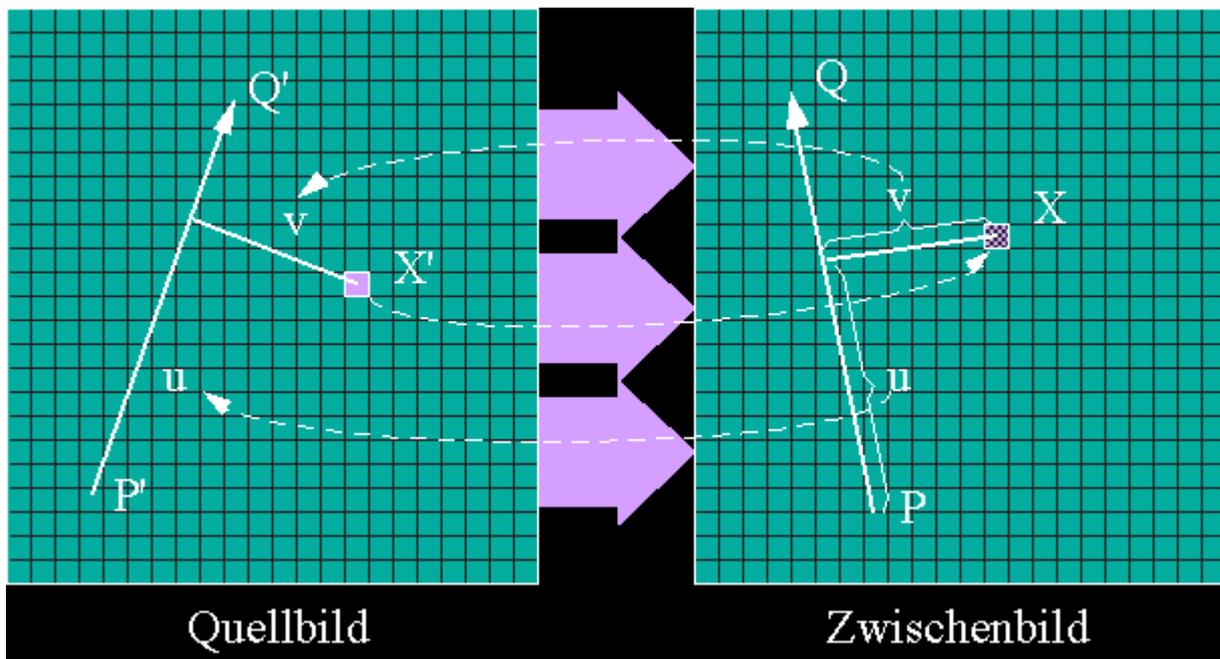


Abbildung 3: Reverse-Mapping mit einem Referenzlinienpaar

Im Zwischenbild wird für jedes Pixel  $u$  und  $v$  ermittelt, und auf die Referenzlinie im Quellbild aufgetragen. Dadurch findet man das entsprechende Pixel im Quellbild, dessen Eigenschaften auf das Pixel im Zwischenbild übertragen werden.

### 2.3.2 Transformation mit mehreren Referenzlinienpaaren

Bei Verwendung von mehreren Referenzlinienpaaren sind wesentlich kompliziertere Transformationen möglich. Hinzu kommt, daß nicht alle Bildpunkte gleichmäßig von allen Referenzlinien beeinflusst werden, sondern jene Punkte, die sich in der Nähe einer Referenzlinie befinden stärker beeinflusst werden, als weiter entfernte Bildpunkte. Die Stärke der Beeinflussung kann allerdings durch entsprechende Wahl der Parameter einer Gewichtungsgleichung 2) bestimmt werden.

Der Reverse-Mapping-Algorithmus mit mehreren Referenzlinienpaaren sieht in Pseudocode folgendermaßen aus:

```

Für jedes Pixel  $X$  im Zwischenbild

     $gewDistSum = (0,0)$ 

     $gewichtSum = 0$ 

    Für jede Referenzlinie  $P_iQ_i$ 

        berechne  $u$  und  $v$  von  $P_iQ_i$ 

        finde das Pixel  $X_i'$  im Quellbild f. d. berechnete  $u$  und  $v$  von  $P_iQ_i$ 

        Berechne die Distanz  $Di = X_i' - X$  für diese Linie

        1)  $dist =$  kürzester Abstand von  $X$  zu  $P_iQ_i$ 

        2)  $gewicht = ((länge)_p / (a + dist))b$ 

```

```

    gewDistSum = gewDistSum + Di * gewicht
    gewichtSum = gewichtSum + gewicht

X' = X + gewDistSum / gewichtSum

Attribute von X := Attribute von X'

```

1. ) *dist* ist der kürzeste Abstand von einem Pixel zur Referenzlinie.

$[dist] = \text{Pixel}$

$dist = \text{abs}(v)$ , für  $0 \leq u \leq 1$

$dist = \text{Abstand von P zum Pixel}$ , für  $u < 0$

$dist = \text{Abstand von Q zum Pixel}$ , für  $u > 1$

2. ) *länge* ist die Länge der Referenzlinie im Zwischenbild.

$[länge] = \text{Pixel}$

$a, b, p$  sind Parameter zur Steuerung der Referenzlinieneffekte.

Wenn  $a$  nur etwas größer als Null gewählt wird, so werden die Pixel die sehr knapp an einer Referenzlinie liegen sehr stark von dieser beeinflusst. Für größere Werte von  $a$  wird der Referenzlinie etwas von ihrem Einfluß weggenommen.

Wenn  $b$  groß gewählt wird, dann werden nur Pixel von der Referenzlinie beeinflusst, die ihnen am nächsten ist. Wenn  $b = 0$  gewählt wird, haben alle Referenzlinien auf ein Pixel den gleichen Effekt. Werte für  $b$  im Intervall zwischen  $[0.5, 2]$  sind am gebräuchlichsten.

Wenn der Wert  $p = 0$  gewählt wird, haben alle Referenzlinien das gleiche Gewicht, wenn  $p = 1$  haben die längeren Linien einen größeren Einfluß als die Kürzeren. Werte für  $p$  im Intervall zwischen  $[0, 1]$  sind am gebräuchlichsten.

In Abbildung 4 ist die Vorgehensweise grafisch dargestellt.

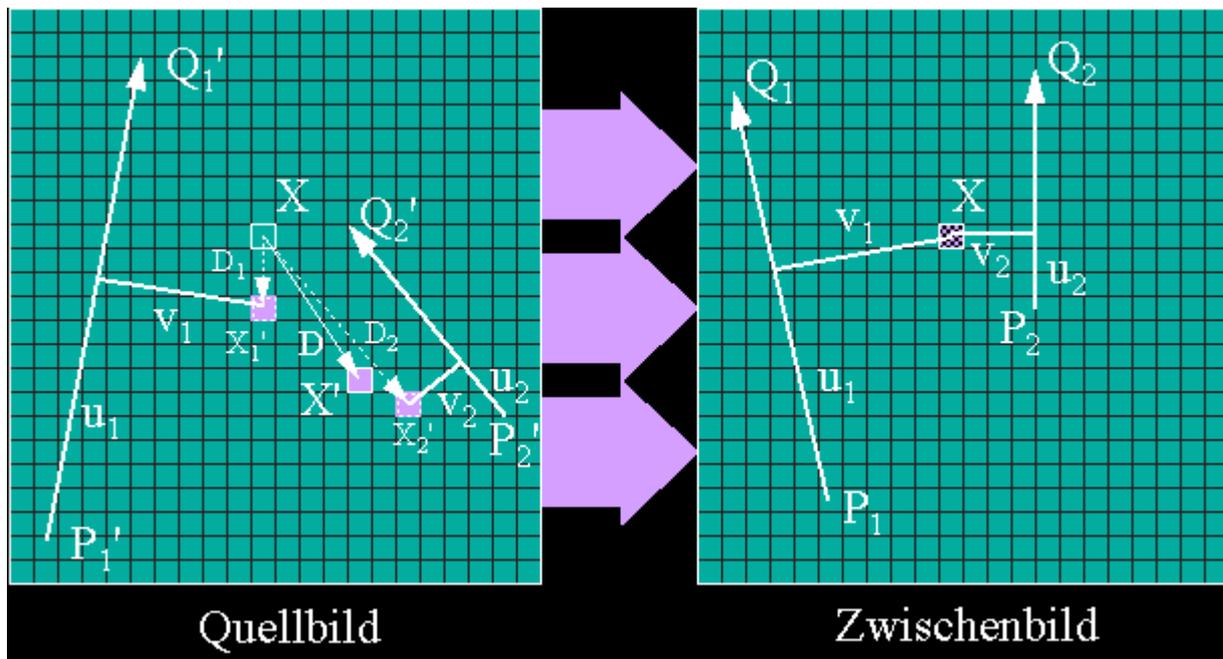


Abbildung 4: Reverse-Mapping mit mehreren Referenzlinienpaaren

Im Zwischenbild werden pro Pixel  $X_i$  und Referenzlinie  $P_iQ_i$  die Werte  $u_i$  und  $v_i$  ermittelt, und auf die entsprechenden Referenzlinien  $P_i'Q_i'$  im Quellbild aufgetragen. Das Ergebnis ist je ein Quellpixel  $X_i'$ , das mit dem Abstand  $D_i$  zur Position des Ausgangspixels im Zwischenbild lokalisiert wird. Die Abstände  $D_i$  werden nun mit den aus den Abständen  $v_i$  ermittelten Gewichten 2) bewertet, und daraus der durchschnittliche Abstand  $D$  berechnet. Im Abstand  $D$  zum Ausgangspixel befindet sich schließlich das Pixel im Quellbild, dessen Eigenschaften auf das Pixel im Zwischenbild übertragen werden.

In diesem Beispiel ist das betrachtete Zwischenbildpixel näher bei Referenzlinie  $P_2Q_2$  und wird daher, bei standardmäßiger Wahl der Gewichtungparameter von dieser Referenzlinie stärker beeinflusst. Dadurch ergibt sich eine Position des endgültig ausgewählten Quellbildpixels, die näher bei  $X_2'$  als bei  $X_1'$  liegt.

### 3 Probleme

Bei ungünstigen Konstellationen der Referenzlinien im Zwischenbild kann es zu ungewollten Verzerrungen kommen, die als "Ghosts" bezeichnet werden. Ein solcher Fall ist in Abbildung 5 dargestellt, wo oberhalb des "F" im Zwischenbild eine Ausbuchtung entstanden ist.

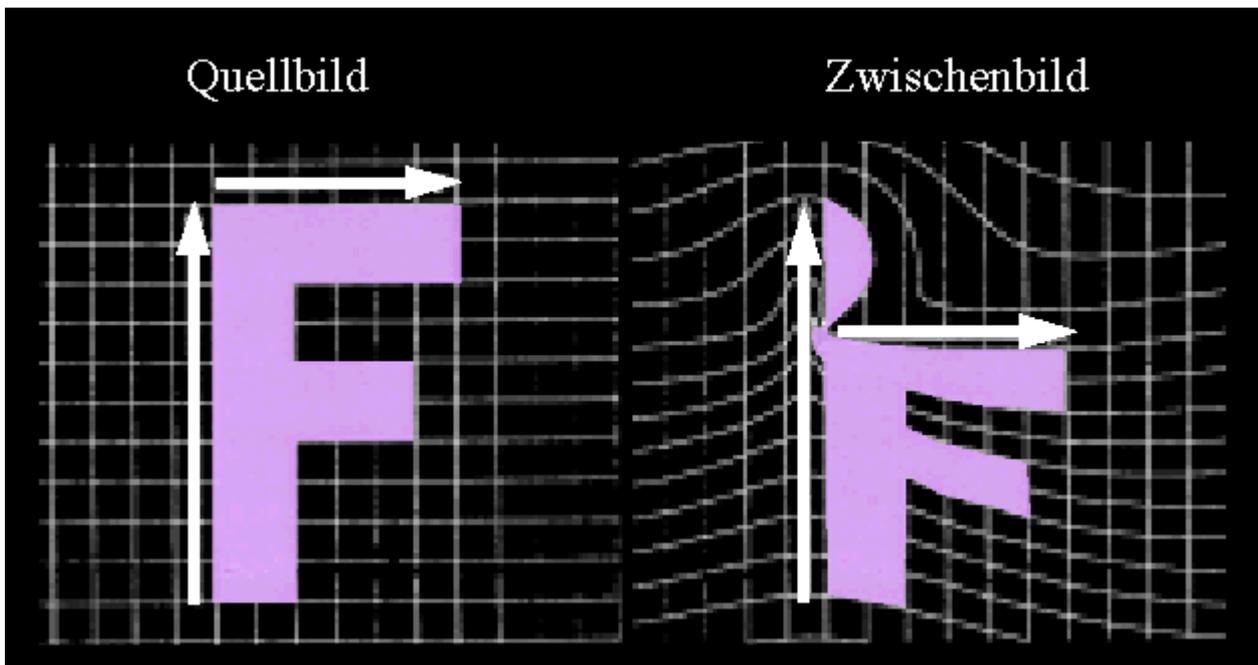


Abbildung 5: "Ghosts"

Zur Lösung des Problems muß der Animator regulierend eingreifen, und eine der beiden, in Abbildung 6 angeführten, Lösungsmöglichkeiten anwenden.

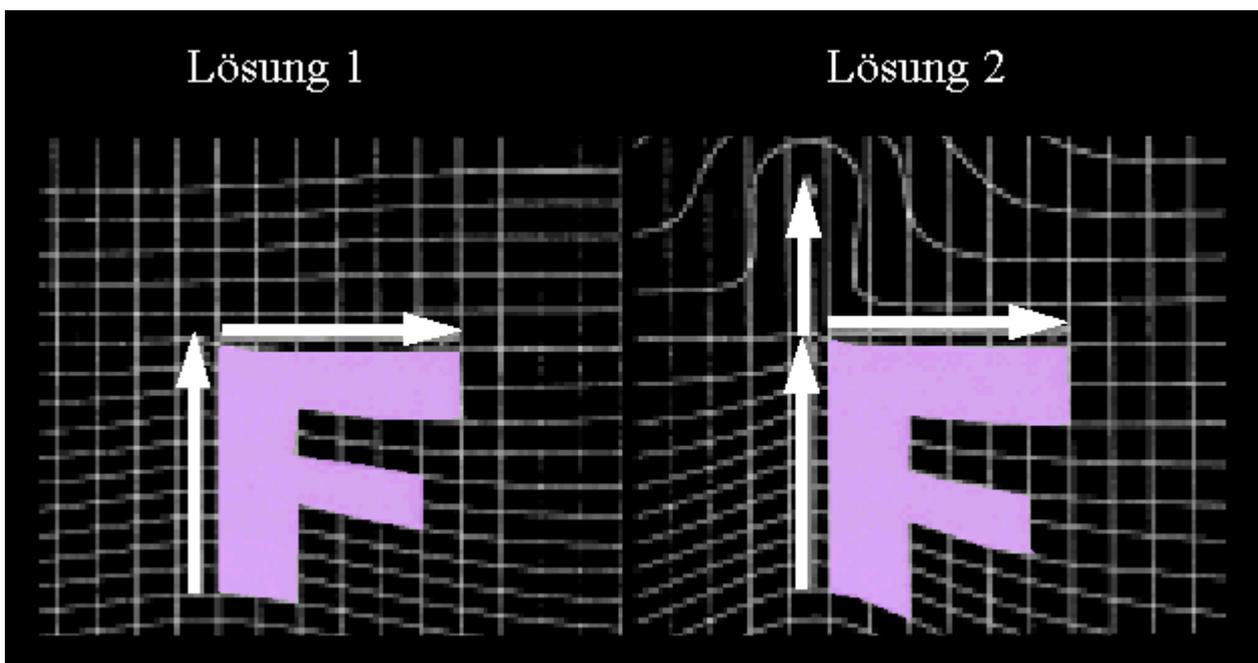


Abbildung 6: "Ghostbusting"

Das bedeutet, daß in diesem Fall einfach die linke Referenzlinie verkürzt, oder falls dies nicht erwünscht ist, in 2 Referenzlinien umgewandelt wird. Dabei muß natürlich auch in den Quellbildern eine zusätzliche Referenzlinie eingefügt werden.

Eine hilfreiche Unterstützung zur Lösung derartiger Probleme ist ein Debugging-Tool, das bei Anklicken eines Pixels im Zwischenbild, die entsprechenden Pixel in den Quellbildern anzeigt.

---

## 4 Zusammenfassung

Durch Morphing ist es möglich beeindruckende Übergänge zwischen Bildern zu erzeugen. In der hier dargestellten Methode "Field-Morphing" wird durch Festlegen von Referenzlinien in markanten Bereichen der Quellbilder der Transformationsprozeß gesteuert.

Für den Animator ist es nützlich, sich eine Referenzlinie als Kontrollelement vorzustellen, das einen gewissen, nach außen hin abnehmenden, Einflußbereich aufweist. Je näher die Bildelemente einer Referenzlinie sind, desto näher bleiben sie bei der korrespondierenden Referenzlinie in den Zwischenbildern, ohne dabei zu stark von benachbarten Referenzlinien beeinflußt zu werden.

Durch Hinzufügen bzw. Eliminieren von Referenzlinien in den Quellbildern kann das Aussehen der erzeugten Zwischenbilder auf einfache Art und Weise manipuliert werden.

Die Laufzeit des dargestellten Morphing-Algorithmus ist proportional zur Anzahl der Pixel im Quellbild multipliziert mit der Anzahl der Referenzlinien.

---

Zurück zur [Virtual Reality Seminar](#) Page.