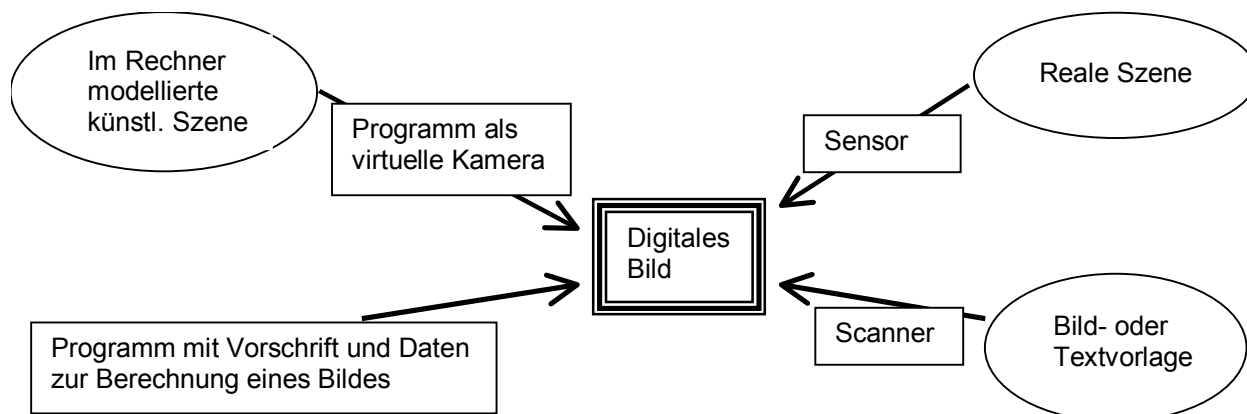


## 4 Gewinnung digitaler Bilder

**Digitale Bilder** können auf unterschiedlichste Art erzeugt werden. Beispielsweise können reale Gegebenheiten mit Hilfe eines Sensors (z.B. Photoapparat, Video-Kamera) aufgenommen werden, oder aber man verwendet einen Scanner, um eine Vorlage einzuscannen; siehe rechte Seite von Abbildung 4.1. Alternativ hierzu können digitale Bilder auch im Rahmen der Computer Graphik synthetisch generiert werden; siehe linke Seite von Abbildung 4.1.



**Abb. 4.1:** Schema für die Gewinnung digitaler Bilder.

### 4.1 Sensoren

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlichster **Sensoren**, um Bilder einer realen Szene zu erzeugen. Neben konventionellen (oder digitalen) Photoapparaten zur Aufzeichnung von Einzelbildern gehören hierzu auch Kameras zur Aufnahme von Bildfolgen. Die Aufnahmetechnik ist in allen Fällen nicht auf den sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums beschränkt, sondern es können auch andere Spektralbereiche erfasst werden, wie z.B. Ultraviolette-Licht (UV), Wärmestrahlung, Ultraschallwellen und Radar- oder Röntgenstrahlung.

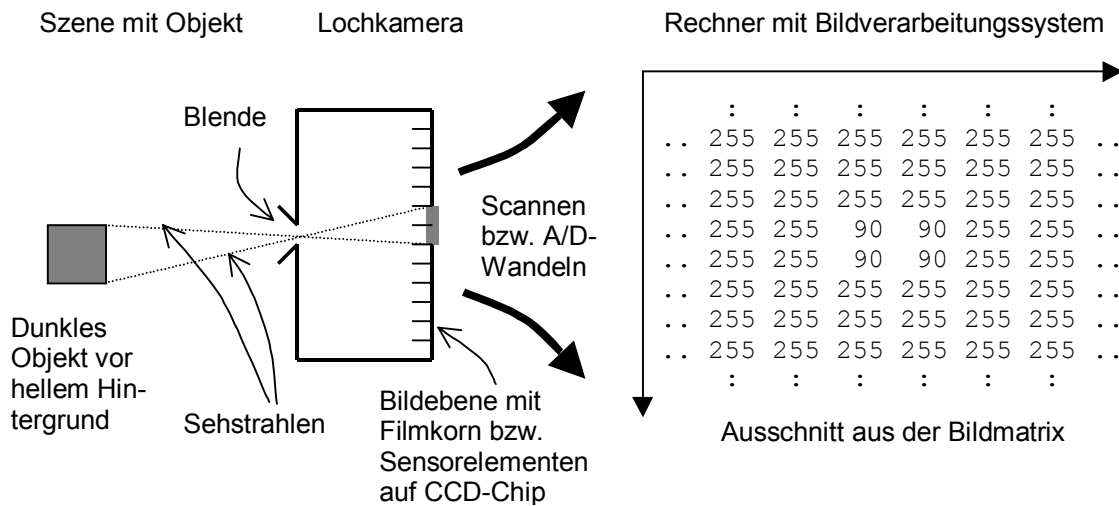
Bei den Sensoren unterscheidet man zwischen passiven und aktiven Systemen. Bei den **passiven Systemen** wird die im Raum vorhandene Strahlung zur Bilderzeugung genutzt; (z.B. Photoapparat und Wärmebildkamera). Bei den **aktiven Systemen** wird die Strahlung vom Gerät selbst erzeugt und abgestrahlt; (z.B. Laserabtaster und abbildendes Radar). Die von der Szene zurückgestrahlte Energie wird empfangen und aufgezeichnet. (Ausnahme: beim Röntgengerät wird die die Objekte durchdringende Strahlung gemessen).

Viele Aufnahmetechniken erzeugen ein analoges Ausgabebild (bzw. -signal), das dann mit geeigneten Hilfsmitteln in ein digitales Bild überführt werden muss; beispielsweise können analoge Papierbilder mit Hilfe eines Scanners und analoge Videosignale mittels eines Framegrabbers digitalisiert werden. Bei zahlreichen neueren Aufnahmetechniken entsteht direkt ein digitales Bild: digitale Photographie, Kernspin-Tomographie usw.. Letzere ist ein Beispiel dafür, dass digitale Bilddaten heute auch in dreidimensionaler Form erfasst werden können.

Die Abbildung der realen Außenwelt auf die Bildebene eines Sensors soll im folgenden am Beispiel des **Kameramodells der Lochkamera**, das allen Photoapparaten und Kameras zugrunde liegt, erläutert werden; siehe Abbildung 4.2. Eine Lochkamera ist im Prinzip ein Kasten, dessen eine innere Fläche die **Bildebene** darstellt. Gegenüber der Bildebene befindet sich im Abstand der **Brennweite** ein Loch (die sogenannte **Blende**) durch das die Lichtstrahlen auf die Bildebene fallen. Um einen Punkt eines Objektes der realen Außenwelt abzubilden, berechnet man den Schnittpunkt des Strahls, der von diesem Punkt ausgeht und durch die Blende verläuft, mit der Bildebene. Ein derartiger Strahl (mit umgekehrter Richtung) wird als **Sehstrahl** bezeichnet. Aufgrund der geschilderten Abbildungsgeometrie werden alle Objekte auf der Bildebene kopfstehend und seitenverkehrt dargestellt. Da alle 3D-Punkte des Sehstrahls auf ein und denselben 2D-Punkt der Bildebene abgebildet werden, ist diese Projektion nicht umkehrbar, und die realen Gegebenheiten können anhand eines einzigen Bildes nicht dreidimensional rekonstruiert werden. (Hierzu ist z.B. ein zweites Bild - wie bei der Stereo-Photographie - erforderlich).

In der Bildebene sitzen die **Photo-Sensorelemente**. Beim konventionellen Film ist dies das Korn des Filmes, das sich bei Lichteinfall verfärbt, und bei einer digitalen Kamera sind dies die Sensorelemente von **CCD-Chips** (**C**harge **C**oupled **D**evice = ladungsgekoppelter Bildsensor), die die Lichtenergie in elektrische Spannung wandeln. Jedes Filmkorn bzw. jedes Sensorelement empfängt durch die Blende die Lichtenergie, die von einem kleinen Fleck der abgebildeten Szene ausgeht. Vereinfacht ausgedrückt wird also z.B. bei der Erzeugung eines Grauwertbildes die mittlere Helligkeit dieses Flecks gemessen und in eine Filmschwärzung bzw. eine elektrische Spannung umgewandelt. Die Spannung wiederum wird mittels A/D-Wandlung in einen Grauwert überführt, der an der entsprechenden Stelle des digitalen Bildes eingetragen wird.

Die Anzahl der Sensorelemente bestimmt bei den digitalen Kameras die räumliche Auflösung des Bildes; näheres zur Auflösung in Bezug auf die Erkennbarkeit von Bilddetails ist in Kapitel 4.2 geschildert.



**Abb. 4.2:** Prinzip der Erzeugung eines Grauwertbildes mit Hilfe einer Lochkamera: jedes Element der Bildmatrix entspricht dem vom entsprechenden Filmkorn bzw. Sensorelement „gesehenen“ Fleck der aufgenommenen Szene.

## 4.2 Scanner

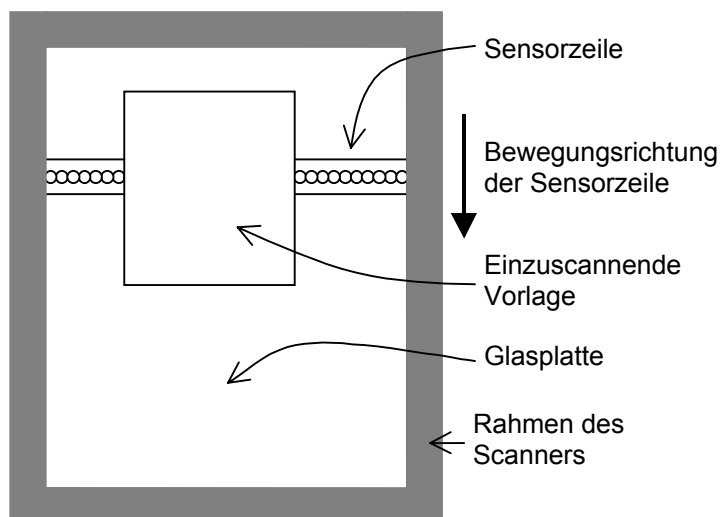
Mit **Scannern** sind im folgenden nur solche 2D-Scanner gemeint, die von einer analogen Hardcopy-Vorlage (z.B. Papierbild, Diapositiv oder Textseite) ein digitales Abbild für die weitere Verarbeitung im Rechner erstellen. (Darüber hinaus gibt es z.B. noch 3D-Scanner, die ein räumliches Objekt dreidimensional erfassen können).

Für den „normalen“ Gebrauch empfehlen sich heute **Flachbettscanner**, bei denen die Vorlage wie bei einem Photokopierer auf eine Glasplatte gelegt wird. Beim eigentlichen Scannvorgang von nicht-transparenten Vorlagen – wie z.B. Papierbildern – wird die Vorlage von unten mit einer starken Lichtquelle angestrahlt (Auflicht) und die reflektierte Bildhelligkeit bzw. –farbe wird mit Hilfe der Photo-Sensorelemente eines oder mehrerer CCD-Chips gemessen und aufgezeichnet. Dazu sind die Sensorelemente vom Prinzip her dicht benachbart als Sensorzeile angeordnet, und diese Sensorzeile wird senkrecht zu ihrer Längsrichtung unter der Glasplatte hindurchbewegt; siehe Abbildung 4.3.

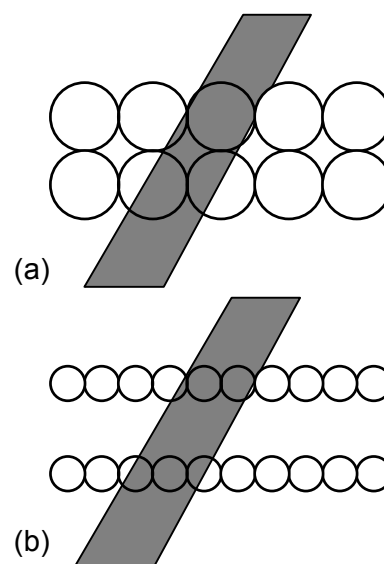
Wenn der Scanner im Falle einer Farbvorlage bei einem Durchlauf der Sensorzeile die komplette Farbinformation erfassen kann, so spricht man von einem Single-Scan-Gerät.

Bei transparenten Vorlagen – wie z.B. Diapositiven – wird die Vorlage von oben her angestrahlt, und die Sensorelemente der durchlaufenden Sensorzeile messen die die Vorlage durchdringende Strahlung (Durchlicht).

Gute Scanner haben eine Farbauflösung von weit mehr als 24 Bit. Diese Farbauflösung wird dann intern optimal auf 24 Bit Farbtiefe umgerechnet (je 8 Bit für R, G und B; siehe Kapitel 3), so dass die resultierenden digitalen Farbbilder über etwa 16,7 Millionen Farben verfügen können.



**Abb. 4.3:** Prinzip des Flachbettscanners



**Abb. 4.4:** Prinzip des Abtasttheorems

Unter der **optischen Auflösung** eines Scanners versteht man die Anzahl der Abtastpunkte, die auf einem Inch (= Zoll  $\approx 25,4$  mm) der abzutastenden Vorlage platziert werden. Die optische Auflösung wird in **dpi** bzw. **ppi** (d.h. **dots** bzw. **pixel per inch**) angegeben.

Im folgenden wird kurz auf die Wahl der Scanner-Auflösung im Hinblick auf eine spätere Auswertung der Bilder eingegangen; (die Wahl der Auflösung hinsichtlich der Bildausgabe auf einem Bildschirm oder Drucker wird in Kapitel 4.1.4 bzw. 4.2 behandelt.)

Falls die Bilder (z.B. mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung) ausgewertet werden sollen, so bestimmt laut **Abtasttheorem** (siehe unten) die Größe der kleinsten interessierenden Bild-details die Wahl der Scannerauflösung.

Anschaulich (und vergrößert) besagt das Abtasttheorem im vorliegenden Fall, dass man z.B. eine im Bild vorhandene Linie nur dann korrekt erfassen kann, wenn die Abtastfleckgröße höchstens so groß wie die halbe Linienbreite ist. In Abbildung 4.4 (a) ist der Abtastfleck zu groß gewählt (Unterabtastung) und bei ungünstiger Platzierung der Sensorelemente (siehe untere Abtastzeile in Abbildung 4.4 (a)) kann die Linie nicht korrekt erfasst werden; durch die Mittelung der Helligkeit innerhalb eines Abtastflecks kann die Linie verschwinden oder zumindest stark abgeschwächt werden. Abbildung 4.4 (b) zeigt, dass bei Berücksichtigung des Abtasttheorems immer mindestens ein Abtastfleck vollständig innerhalb der Linie liegt.

**Beispiel:** Beim Scannen mit einer Scanner-Auflösung von 300 dpi werden Details mit einer Seitenlänge von etwa 0.2 mm noch mit mindestens einem vollständigen Abtastpunkt erfasst.

**Abtasttheorem von Shannon / Nyquist:** Ein kontinuierliches Signal mit begrenzter Bandbreite kann durch eine Menge von Abtastungen in äquidistanten Zeitabschnitten vollständig repräsentiert werden, wenn die Abtastung häufiger, als mit der halben Periode der höchsten im Signal auftretenden Frequenz erfolgt. Die Abtastfrequenz muss also mehr als doppelt so hoch sein, wie die höchste im Frequenzgemisch des Signals vorhandene Frequenz. (Näheres zum Abtasttheorem folgt in Kapitel 13.2).

Das Abtasttheorem muss nicht nur beim Scannen, sondern bei jeglicher Form der Bild-erzeugung berücksichtigt werden. Bei einer Verletzung des Abtasttheorems können Artefakte (Aliasing) entstehen, die das Bild verfälschen. Ein Spezialfall hiervon sind die sogenannten **Moiré-Muster**, die beim Scannen oder bei Bildaufnahmen auftreten können, wenn z.B. eine periodische Bildstruktur vorliegt, die etwa dieselbe Frequenz wie die Abtastfrequenz hat. Diese störenden Muster erhält man z.B. häufig dann, wenn man aufgerastert gedruckte Bildvorlagen aus Zeitungen oder Zeitschriften einscannet; (Interferenz zwischen dem Druck- und dem Scannraster).

**Schlussbemerkung:** Bei den sogenannten *interpolierenden Scan-Auflösungen* wird die Bildvorlage mit der höchsten möglichen optischen Auflösung abgetastet. Danach werden zwischen diesen „echten“ Bildpunkten zusätzliche Bildpunkte eingefügt, deren Grau- bzw. Farbwert aus den Werten der umgebenden Bildpunkte interpoliert wird. Im Sinne der Bildverarbeitung liefert eine derartige Abtastung also keinen Informationsgewinn, sondern lediglich ein vergrößertes Bild.

### **4.3 Prozedurale Erzeugung synthetischer Bilder**

Während die Kapitel 4.1 und 4.2 gezeigt haben, wie digitale Bilder einer Szene oder Vorlage mit Hilfe von Sensoren oder Scannern erzeugt werden können, sollen in diesem und dem nächsten Kapitel kurz zwei Prinzipien vorgestellt werden, wie Bilder im Rechner synthetisch generiert werden können; siehe linke Seite der Abbildung 4.1.

Der einfachste Ansatz zur Erzeugung eines synthetischen Bildes besteht darin, alle Informationen über das Aussehen des Bildes in eine Berechnungsvorschrift zu integrieren. Diese Möglichkeit wird als **prozeduraler Ansatz** bezeichnet; siehe links unten in Abb. 4.1.

Ein besonders einfaches Beispiel für den prozeduralen Ansatz stellt der Graukeil in Kapitel 3 Abbildung 3.4 (d) unten dar. Bei diesem werden alle Grauwerte des Bildes in Abhängigkeit von der Spaltenposition des jeweiligen Bildpunktes berechnet; (Bilder müssen nicht quadratisch sein!) Bei 256 Bildspalten und  $2^8=256$  möglichen Grauwerten erhält jedes Element jeder Bildzeile seine Spaltenposition als Grauwert zugewiesen. Das Bild wird hier direkt in der Rasterdarstellung erzeugt.

Ein zweites einfaches Beispiel für eine prozedurale Bildgenerierung – hier aber in Vektordarstellung – stellt die Anwendung eines iterativen Ersetzungs-Systems dar. Solche Systeme stellen eine von vielen Möglichkeiten zur Erzeugung sogenannter **Fraktale** dar; siehe Abbildung 4.5.

Mit der Ausgangsgegebenheit  $X_0$  und der Vorschrift  $f$  iteriert man:  $X_{n+1} := f(X_n)$ . Konkret bedeutet dies hier, dass eine Strecke bei jedem Iterationsschritt durch eine identische Strecke, sowie weitere, teilweise kürzere Strecken, die in der Mitte der "alten" Strecke abzweigen bzw. als Verzweigung am oberen Ende der "alten" Strecke angesetzt sind, ersetzt wird. Die Ausgangsgegebenheit, die hier einer senkrecht angeordneten Strecke entspricht (siehe Abb. 4.5 (a)), wird durch den in Abbildung 4.5 (b) gezeigten Streckenzug ersetzt. Im weiteren Verlauf der Iteration wird jede Strecke des Streckenzuges wieder durch eine entsprechend verkleinerte und gedrehte Kopie des Streckenzuges aus (b) ersetzt; siehe Abbildung 4.5 (c). Nach acht Iterationsschritten entsteht das in Abbildung 4.5 (d) vergrößert dargestellte Bild.

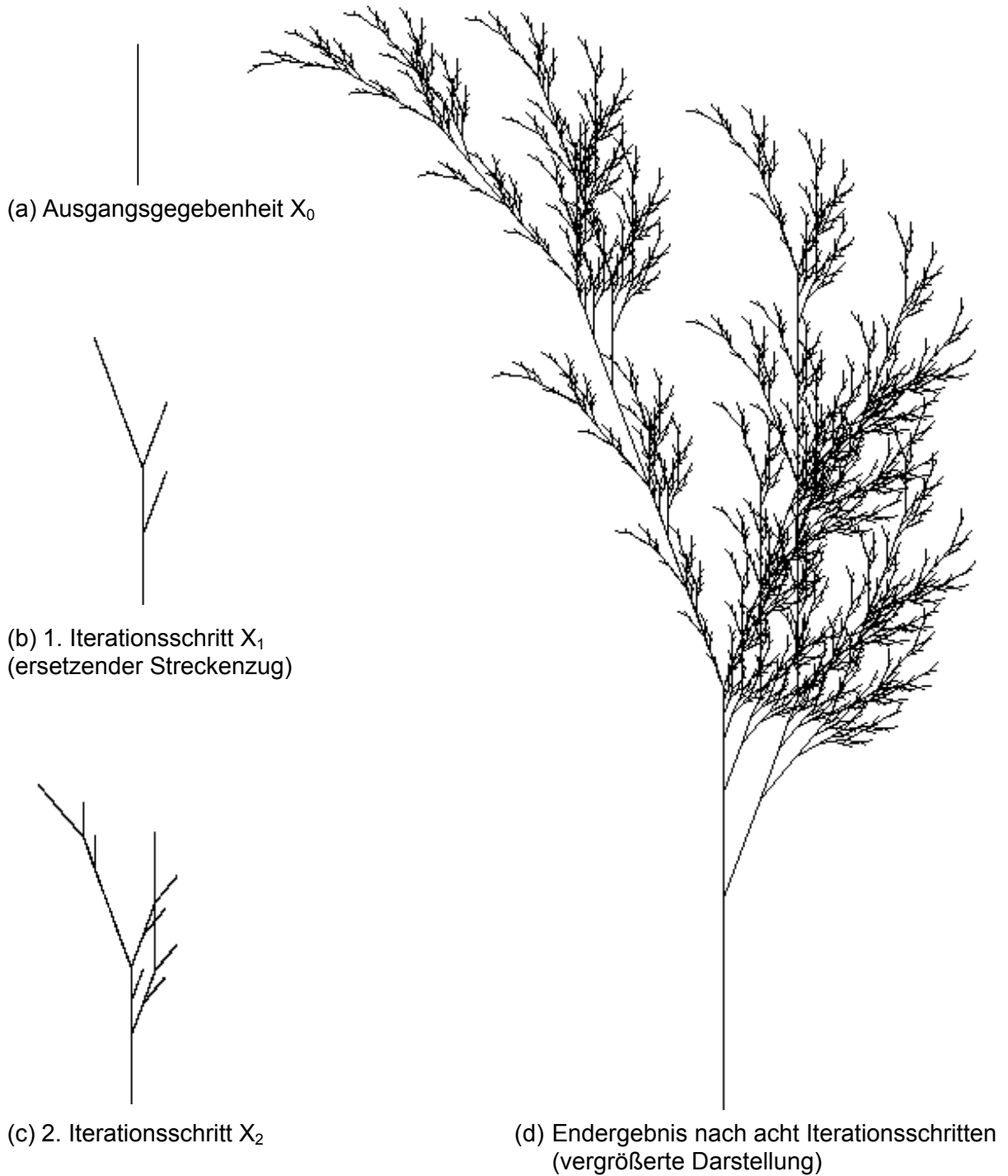
### **4.4 Deklarative Erzeugung synthetischer Bilder**

Im Gegensatz zum prozeduralen Ansatz, der nur die Erzeugung relativ einfach aufgebauter Bilder erlaubt, lassen sich beim **deklarativen Ansatz** (siehe links oben in Abbildung 4.1) beliebig komplexe Bilder generieren.

Der Grundgedanke dieses Ansatzes ist, dass die Beschreibung der abzubildenden Szene von der Erzeugung des Bildes getrennt wird. Das Programm dient hier als **virtuelle Kamera** (aktiver Teil), mit dem die separat modellierte und abgespeicherte Szene (passiver Teil) aufgenommen wird. Beispielsweise kann eine komplexe Szene unabhängig von ihrer Darstellung erstellt und z.B. als VRML-Datei (**Virtual Reality Modelling Language**) abgelegt werden. Mit Hilfe eines VRML-Browsers kann diese Welt dann visualisiert und „begangen“ werden.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es bei anspruchsvolleren Anwendungen (wie z.B. der Erzeugung realistisch wirkender Szenendarstellungen) nicht ausreicht, lediglich die Objekt- bzw. Szenengeometrie abzuspeichern. Zusätzlich muss das **Szenenmodell** auch die Oberflächenbeschaffenheit der Objekte erfassen (**Reflektionsmodell**). Da das Aussehen einer Szene weiterhin stark von der verwendeten Beleuchtung abhängt, muss das **Beleuchtungsmodell** ebenfalls beschrieben werden: Art der Beleuchtung (z.B. Punktstrahler oder diffuse Beleuchtung, Intensität und Position der Lichtquellen). Und auch die virtuelle Kamera

zur Projektion der modellierten Szene auf die Bildebene kann separat mit Hilfe des **Kamera-modells** erfasst werden: z.B. Position, Orientierung und Brennweite der Kamera.



**Abb. 4.5:** Erzeugung einer fraktalen Pflanze mit Hilfe eines Ersetzungs-Systems.