

Zwischen Sample und Bildelement: Pixel als Kulturtechnik und Wissensform

von Torsten Roeder

1. Einführung

Folie 01: Titel

In Zukunft werden wir uns immer häufiger mit digitalem Kulturerbe beschäftigen. Gestern erst haben wir einen [Vortrag von Gabriele Gramelsberger zu historischer Forschungssoftware](#) hören können. Mit dem Fokus auf das digitale Bild und die kritische Betrachtung desselben möchte ich im Folgenden der technik- und kulturgeschichtlichen Spur des Pixels nachgehen und einige historische Charakteristika herausarbeiten.

Pixel sind allgegenwärtig auf allen Bildschirmgeräten. Sie setzen sich zu höheren sinnhaften Formen wie Text oder Bild zusammen. Ihre Anordnung in strengen rechtwinkligen Rastern wirkt dabei spielerisch und technokratisch zugleich. Gleichzeitig trägt das Pixel als einzelner leuchtender Punkt noch etwas von dem binären Charakter des Bit in sich.

Bildschirmtechniken übten dabei einen immensen Einfluss auf die Erscheinungsform digitaler Bilder aus und das Pixel veränderte im Verlauf der Entwicklung schon mehrmals seine Gestalt. Durch immer feinere Bildschirmauflösungen und darauf aufbauende Techniken werden die Pixel jedoch immer weiter ihrer Unterscheidbarkeit durch das menschliche Auge entzogen. Diesen Weg möchte ich mit Ihnen anhand einiger Beispiele nachvollziehen. Abschließend wird sich die Frage nach der Historizität des Pixels stellen.

Hintergrund

Folie 02: Seminar / Blog

Dieser Kolloquiumsbeitrag basiert auf Lehrinhalten des Seminars mit dem Titel »Gerastertes Wissen: Pixel in Kultur und Technik«, das im Sommersemester 2020 im interdisziplinären Studienprogramm »Vielfalt der Wissensformen« an der Humboldt-Universität zu Berlin durchgeführt wurde. Als Seminarprodukt wurde das Wissenschaftsblog »[pixel.hypotheses.org](#)« konzipiert und eingerichtet, das seitdem unabhängig fortgeführt wird. Das Blog ist offen für freie Beiträge.

Kurze Begriffsgeschichte

Folie 03: Begriffsentwicklung

Das Wort Pixel ist ein Kofferwort aus engl. »picture element«. Es tauchte in unterschiedlichen Kontexten auf, die ich jetzt nicht einzeln referieren werde; entscheidend ist, dass es sowohl in der Fotografie als auch in der Wiedergabetechnik auftauchte. Semantisch gibt es außerdem einige Vorläufer und alternative Bezeichnungen. Erst in den 1970er Jahren etablierte sich der Begriff durch die zunehmende Verwendung in Patentschriften [Lyon 2006: 7]. Die begriffliche Spannung zwischen Input und Output persistiert bis in die Gegenwart, da »Pixel« als Maßeinheit sowohl für die Auflösung von digitalen Kamerasensoren als auch Monitoren geläufig ist. Landläufig wird Pixel auch als Metapher verwendet für alles, was irgendwie mit digitalen Bildern zu tun hat.¹

Das Quadrat-Paradigma

Folie 04: Ein Pixel ist ein kleines Quadrat ...

Pixel sind kleine quadratische Farbflächen auf Bildschirmen, aus denen sich ein Gesamtbild zusammensetzt. So zumindest ließe sich meine Vorstellung von Pixeln formulieren, von der ich lange ausging. Unlängst stieß ich auf einen Aufsatz von Alvy Ray Smith aus dem Jahr 1995, in dem der Autor genau das Gegenteil behauptete: Der Titel lautet »A Pixel Is *Not* A Little Square, A Pixel Is *Not* A Little Square, A Pixel Is *Not* A Little Square! (And a Voxel is *Not* a Little Cube)« [Smith 1995]. Offenbar war es dem Autor dieses Textes ein persönliches Anliegen, meine Auffassung nachhaltig aus der Welt zu schaffen: Ein Pixel sei eben kein kleines Quadrat, und ein »Voxel« (das dreidimensionale Pendant) sei dementsprechend kein kleiner Würfel.

Jener Artikel war in einer Reihe namens »Microsoft Technical Memos« erschienen: eine Firmenpublikation, die vertiefte Einblicke in Themen der Computertechnik bot. Der Autor war indessen kein gewöhnlicher Microsoft-Mitarbeiter: Alvy Ray Smith, Jahrgang 1943, leitete zunächst bei Lucasfilm, der Produktionsfirma von George Lucas, die Abteilung für Computergrafik, wo er bereits Anfang der 80er Jahre Animationen für Kinofilme schuf. Mit Geldmitteln von Steve Jobs stellte Smith im Jahr 1986 das Animationsstudio Pixar mit auf die Beine (Toy Story 1995, Finding Nemo 2003). Smith selbst gründete einige Jahre darauf eine eigene Softwarefirma, die von Microsoft aufgekauft wurde. Aus dieser Zeit stammt sein »Technical Memo« über die Form des Pixels.



2. Pixel im Digitalen Bild

Sample

Folie 05: Abtastraster und Boxfilter

Smith wirft in seinem Memo die Frage auf, was Pixel grundsätzlich repräsentieren würden. Er versteht Pixel als »samples« und meint damit einzelne Messwerte, die von einer Bildvorlage abgenommen werden. Dies kann beispielsweise mithilfe einer Kamera oder eines anderen optischen Geräts geschehen, das die Vorlage mit einer zuvor festgelegten Rasterung abtastet. Das Prinzip der Rasterung kennt man bereits aus früheren Bildformen, beispielsweise aus der Weberei. Die Messwerte an den einzelnen Punkten werden dann als Licht- oder Farbwerte festgehalten. Die Vorlage muss nicht zwingend physisch existieren, sondern kann auch aus einem digital errechneten Bild bestehen, wie beispielsweise ein 3D-Modell, eine Vektorgrafik oder auch eine mathematische Formel.²

Die Vorlage kann im Prinzip an beliebigen Punkten abgetastet werden, sie bildet also ein Kontinuum. Da man schlicht nur eine begrenzte Abtastgenauigkeit erreichen kann, nimmt man beim Sampling eine gewisse Unschärfe in Kauf. Die an einem Rasterpunkt gemessene Farbe muss aber nicht nur den Punkt, sondern auch das gesamte Areal drumherum repräsentieren, bis hin zu den jeweils angrenzenden Pixelbereichen – ähnlich wie in einem Mosaik. Und darin besteht das Dilemma der Pixelform: Die diskreten Samples, die für sich genommen keine Ausdehnung haben, gelten eigentlich für kleine, aber kontinuierliche Flächen.

Smith zufolge wären Pixel zunächst nicht mehr als ein Versuch, den digitalen Abklatsch eines Originalbildes zu formulieren. Was dann aber auf dem Bildschirm erscheine, so Smith, sei ein aus einer Vielzahl der Messpunkte wieder zusammengesetztes Bild, das aber für die Wiedergabe nochmals neu errechnet werden muss. Denn: die Rasterung des digitalen Bildes (der Bilddatei) entspricht meistens gar nicht der Rasterung des Bildschirms, so dass digitale Bilder für konkrete Anwendungszwecke vergrößert, verkleinert, beschnitten oder auch perspektivisch verzerrt werden müssen.

Das heißt, der auf dem Display sichtbare Pixel-Bildpunkt muss nicht zwingend mit dem Pixel-Messpunkt aus der Grafikdatei übereinstimmen. Und spätestens hier beginnt Smiths Problem mit dem Quadrat. Angenommen, ein digitales Bild müsse für die Wiedergabe vergrößert werden: Dann müssen Informationen ergänzt werden, damit wieder eine kontinuierliche Bildfläche entsteht. Aber wie geht man dabei vor? Nimmt man an, ein Pixel sei ein Quadrat, dann wäre die Vergrößerung ebenfalls ein Quadrat.

Dieses Verfahren erzeuge aber, erläutert Smith, meistens keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Beispielsweise würden Diagonalen und Kurven nicht zu Linien, sondern zu treppenartigen Gebilden vergrößert. Auch in anderen Anwendungsfällen (z.B. Drehung) ergäben sich durch die Annahme



der Quadratform starke Formveränderungen. Wenn man also keine Quadrate mag, braucht man eine bessere Form für die Pixel.

Filter

Folie 06: Gaußfilter und Lanczosfilter

Die zugrundegelegte Form des Pixels nennt Smith »Filter«. Lege man als Filter anstelle des scharfkantigen Quadrats eine kreisförmige Gestalt mit weichen Rändern zugrunde, würden die Farben von aneinandergrenzenden Pixeln optisch verschmelzen. Auf dieser Grundlage lassen sich die neuen Bildpunkte für ein feinmaschigeres Raster, wie bei einer Vergrößerung, viel feiner berechnen, und die ergänzenden, dazwischenliegenden Pixel würden sich sanfter ins Kontinuum einpassen. Das Resultat ist meistens schon sehr viel angenehmer zu betrachten.

Einer der bewährtesten Filter ist (Smith zufolge) eine kreisförmige Welle, die nach außen hin abflacht, ähnlich wie bei einem Steinwurf ins Wasser. Tatsächlich erzeugt die Vergrößerung unter Annahme der Kreiswellenform (auch »Lanczos-Filter« genannt) ein konturstärkeres Bild als der Gauß-Filter.

Es gibt tatsächlich sehr viele unterschiedliche Ansätze für Filter, die alle ihre Vor- und Nachteile mit sich bringen. Der »Boxfilter« ist beispielsweise besonders schnell, während raffiniertere Filter zwar eine hohe Qualität mit sich bringen, aber auch rechenintensiv sind. Je nach Anspruch und Ressourcen sind die unterschiedlichen Filtertechniken also gezielt einsetzbar. Klar, dass Smith nirgends Qualitätsabstriche hinnehmen und sich lieber alle Zeit der Welt nehmen würde, um die Bilder für seine Animationen schon im Voraus möglichst perfekt zu berechnen.

Im Ergebnis bedeutet dies: Das Quadrat ist nur eine von vielen möglichen Interpretationen der Pixelform, und auf dem Gebiet der Bildverarbeitung nicht einmal die bestmögliche. Sie wird allerdings auch nicht mit dem digitalen Bild selbst transportiert: Ein wichtiger Aspekt für eine Kritik des digitalen Bildes, die jedoch nur dem Kontext entnommen werden kann.

Pixel Art

Folie 07: Pixel Art

Mit einer Sache konnte Smith im Jahr 1995 allerdings noch nicht rechnen: In den 2000er Jahren formierte sich eine Strömung der Computergrafik, die den Boxfilter quasi zelebriert und die Quadratform zur zentrale formale Bedingung erhebt. Smiths Leitsatz »a pixel is not a little square« wurde dort auf den Kopf gestellt, denn dort dürfen und müssen Pixel »little squares« sein, ganz gleich, wie groß sie skaliert werden. Dies ist unter dem Begriff Pixel Art verbreitet und ist auch außerhalb digitaler Räume präsent.



3. Pixel auf dem Bildschirm

Unabhängig von der angewendeten Filtertechnik wirkt sich auch die Bildschirm-Technologie maßgeblich auf die Erscheinungsform des Pixels aus. Ich selbst habe Pixel erstmals auf einem Röhrenbildschirm wahrgenommen: In diesen Geräten werden die Punkte auf dem Bildschirm mithilfe einer Elektronenkanone zum Leuchten gebracht. Im Vergleich zu den heute üblichen Flachbildschirmen sind sie unglaublich sperrig und schwer, denn sie enthalten eine nach hinten weit ausladende Kathodenstrahlröhre (daher die Abkürzung CRT), und sie sind nach vorne mit Bleiglas abgeschirmt, um gesundheitsgefährdende Röntgenstrahlung zu absorbieren.³

CRT: Der »gaussian bump«

Folie 08: CRT

Der Kathodenstrahlröhrenbildschirm ist ein Kunstwerk der Regeltechnik. Seine Bildschirmfläche ist mit einer Phosphorschicht versehen, die aus winzigen, regelmäßig angeordneten Segmenten in den Grundfarben Rot, Grün und Blau besteht. Trifft der Elektronenstrahl aus der Röhre auf die Bildschirmfläche, leuchten die Phosphorsegmente an diesem Punkt auf. Die drei Farbraster lassen sich mithilfe einer Lochmaske unabhängig voneinander aktivieren, außerdem lässt sich die jeweilige Leuchtintensität regulieren.

Die Subpixel, das heißt: die einzelnen roten, grünen und blauen Phosphorsegmente, sind so winzig, dass sie erst mithilfe einer Nahaufnahme voneinander unterscheidbar werden. Das führt dazu, dass sich die leuchtenden Segmente für das menschliche Auge zu einem Punkt von genau einer Farbe addieren. Beispielsweise entsteht ein lila Punkt, indem Elektronenstrahlen auf die roten und blauen Segmente eines Bildschirmpunktes lanciert werden, und ein weißer Punkt, wenn alle drei Segmente zum Leuchten gebracht werden.

Für ein einzelnes Pixel wird eine Vielzahl von Subpixeln zum Leuchten gebracht. Wie viele der kleinen Phosphorflächen daran beteiligt sind, hängt von dem gewählten Anzeigeraster ab. Bei CRTs ist dies relativ frei skalierbar, zumindest innerhalb der technischen Grenzen des jeweiligen Geräts. Die meisten CRTs bieten außerdem Regler für Form und Ausrichtung der Bildfläche, denn z.B. kann ein Magnetfeld in der Umgebung zu Verzerrungen des Bildes führen, so dass je nach Stellplatz neu justiert werden muss.

Da jeder Elektronenstrahl ein wenig streut, erscheint ein Pixel auf der CRT-Bildschirmfläche als rundliches Pünktchen [Smith 1995: 8]. Dessen Leuchtstärke ist im Zentrum am stärksten, flacht nach außen stark ab und läuft an den Rändern sanft aus. Dieses Streuungsbild entspricht einer Gauß-Funktion und wird deshalb auch »gaussian bump« genannt [Blinn 2005: 83].

Das Gauß-Modell bietet den großen Vorteil, dass die einzelnen Bildpunkte optisch miteinander verschmelzen, so dass ein kontinuierliches Bild entsteht. Verglichen mit anderen Modellen der Pixelform – insbesondere im Vergleich zur quadratischen Form – ist es zwar nicht ideal, jedoch



bietet es einen guten Kompromiss. So betrachtete beispielsweise Alvy Ray Smith die CRT-Pixel als »not necessarily accurate, but [it] will give you the correct flavor« [Smith 1995: 7]. Auch Jim Blinn betrachtete die CRT-Pixel als »not perfect, but [...] not too terrible« [Blinn 2005: 83].

LCD: Die Quadratur des Pixels

Folie 09: LCD

In den 2000er Jahren wurde die Welt von den flimmernden und raumfüllenden Röhrenbildschirmen erlöst und von den Flachbildschirmen übernommen. Die Flüssigkristall-Technologie (engl. liquid crystal display, LCD) war deutlich platzsparender und strahlungsärmer als die Elektronenkanone der CRTs. Aber mit dem Umbruch veränderte sich auch das Erscheinungsbild des Pixels.⁴

Jeder Bildpunkt eines LCD besteht üblicherweise aus drei fix positionierten Subpixeln in den Farben Rot, Grün und Blau, deren Leuchtstärke einzeln geregelt werden kann. Die Lichtintensität der Subpixel ist völlig gleichmäßig auf die gesamte Pixelfläche verteilt, so dass die Bildpunkte eines LCD als rechteckige oder sogar präzise quadratische Flächen mit messerscharfen Kanten erscheinen. Alvy Ray Smith, der die Quadratgestalt des Pixels schon ablehne, bevor es überhaupt LCDs gab, war vermutlich äußerst frustriert, als er von dieser Technologie erfuhr.

Folie 10: ungleichmäßige Vergrößerung

Zugunsten des Nutzungskomforts verzichtete man also auf den physikalisch verursachten Glättungseffekt des »gaussian bump« der CRT-Displays und führte dafür das kantige Erscheinungsbild der LCDs ein. Dies war ein akzeptabler Kompromiss, solange die Programme exakt das Anzeigeraster des LCD bedienen. Anders als beim CRT lässt sich dessen Auflösung aber nicht ohne weiteres an die eines Programms anpassen [Becker 2005: 4]. Auch heute sind viele Programme immer noch für eine spezifische Auflösung ausgelegt. Wenn das neue LCD-Gerät nun aber eine feinere Auflösung hatte, verkleinerte sich infolgedessen das auf dem Bildschirm sichtbare Programmfenster. Wenn man indessen das Programmfenster auf die gesamte Bildfläche skalierte, traten fast immer unregelmäßige Treppeneffekte auf, welche die Lesbarkeit des Schriftbilds verringerten und präzise gezeichnete Kurven und Diagonalen zu verbeulten Konturen werden ließen [Becker 2005: 6]. Der Einsatz von Glättungs- oder Filtertechniken im Live-Betrieb aufgrund der erforderlichen Rechenleistung zunächst noch nicht denkbar, so dass dem Pixel nun die Quadratform anhaftete.⁵



Folie 11: Antialiasing und Subpixel-Rendering

Mit der Zeit konnte dieser hardwareseitige Nachteil aber softwareseitig oder schon bei der Erzeugung eines Bildes ausgeglichen werden. Beispielsweise lässt sich der Treppeneffekt etwas abmildern, indem bei diagonalen oder runden Konturen zusätzliche Pixel in Zwischenfarben eingefügt werden. Durch dieses sogenannte Antialiasing treten die Skalierungseffekte dadurch in den Hintergrund, allerdings kann das Bild dadurch leicht unscharf werden. Noch subtiler funktioniert das Subpixel-Rendering, bei denen nicht ganze Pixel, sondern einzelne Subpixel, also die einzelnen roten, grünen oder blauen Farbzellen, durch Berücksichtigung ihrer Position auf dem Monitor optimiert werden. »ClearType« von Microsoft ist so eine Entwicklung, bei der die exakte Position des Subpixels im Verhältnis zu den angrenzenden Pixel ebenfalls berücksichtigt wird. Dieses Verfahren kann stark zur Schärfung von Konturen beitragen, wie sie insbesondere bei Text erforderlich sind.

Hat sich jemand gefragt, weshalb ein Screenshot von einem schwarz-weißen Text an den Kanten bunte Pixel aufweist? Das ist ein Nebeneffekt des Subpixel-Rendering. Die Pixel werden dabei genau so eingefärbt, dass die Wiedergabe auf dem LCD eine Kantenglättung bewirkt. Bei der typischen Subpixel-Anordnung (wie auf den gezeigten Bildern), von links nach rechts gesehen, glättet ein rötliches Pixel den Übergang von Weiß nach Schwarz und ein bläuliches Pixel den Übergang von Schwarz nach Weiß.

OLED: Revolution der Subpixel

Folie 12: OLED

Bei den neuesten Displays mit organischen Leuchtdioden (OLED) wird mit gänzlich neuen Subpixel-Anordnungen operiert. Samsung führte beispielsweise das PenTile-Muster ein, bei dem Pixel als Karoform konstruiert sind und die Subpixel unter den angrenzenden Pixeln aufgeteilt werden. Dabei wird auch berücksichtigt, dass die Retina auf die Farben der Subpixel unterschiedlich reagiert: Ihre Sensitivität ist für Grün am höchsten, für Blau am geringsten, weshalb die blauen Subpixel bei OLEDs eine größere Fläche bekommen.

Dies alles trägt zu einer weiteren Verfeinerung der Darstellung bei. Spätestens hier stellt sich jedoch die Frage, inwieweit der einzelne Farbpunkt eines digitalen Bildes noch »eineindeutig« mit einer festen Subpixel-Gruppe auf dem Display verbunden ist. Vielmehr ist es notwendig, zwischen »logischen« Pixeln der grafischen Vorlage und den gerenderten, »wahrgenommenen« Pixeln des Displays deutlich zu unterscheiden: Prinzipiell besteht die Notwendigkeit dafür bereits seit der Einführung des Pixels, das als diskreter Farbwert eines Bildpunktes stets in ein kontinuierliches Bild zurückgeführt werden muss. Die eineindeutige Beziehung zwischen gespeichertem Bildpunkt und sichtbarem Bildschirm-Pixeln ist insofern nur idealtypisch, als beides ungefähr so viel zu tun hat wie Geschichte mit Realität: zwar nicht wenig, aber dasselbe ist es nie.



4. Historizität

Folie 13: Historizität des Pixels

Nachdem sich der »gaussian bump« des CRT zum »little square« des LCD gewandelt hatte, brach mit den OLED-Displays die Ära des Subpixels an. Synchron mit dem technologischen Wandel verändern Pixel fortwährend ihre Gestalt – und hinterlassen dabei kulturelle Spuren. Während sich zunächst die Block-Optik des LCD in der »Pixel Art« eingepreßt hat, bemüht sich die Retro-Szene schon seit einiger Zeit um die Reproduktion des »gaussian bump« der CRTs. Grafische Produktion und Displaytechnik hängen also engst miteinander zusammen. Welche spezifische Spur in der Geschichte des digitalen Bildes werden die OLEDs hinterlassen?⁶

Als weitere historische Linie tritt hinzu, dass sich durch die technologische Entwicklung von Bildschirmen die Pixel so weit verkleinerten, dass sie mit dem menschlichen Auge nicht mehr voneinander unterscheidbar sind. Laut Alvy Ray Smith vervielfacht sich alle fünfzehn Jahre die Bildschirmauflösung um das tausendfache. Die Filter- und Renderingtechniken tragen bereits ihren Teil dazu bei, dass das sichtbare Pixel weiter in den Hintergrund rückt, aber vielleicht werden auch diese Techniken mit feinerer Auflösung obsolet. Das sichtbare Pixel mit einer relativ klar beschreibbaren Form wäre demnach ein pragmatisches, jedoch vorübergehendes Konstrukt, und das Diskontinuum, eigentlich eine entscheidende Eigenschaft des digitalen Bildes, löst sich perspektivisch auf. Im nicht mehr wahrnehmbaren Bereich relativiert und verliert sich die distinktive Bedeutung des einzelnen Pixels, so dass vom Pixel als tragendes Gestaltungselement – das es einst war – nichts mehr übrig bleibt.

Was bleibt?

Trotz der anzunehmenden Historizität des Pixels ist zu vermuten, dass das Konzept des Pixels im Sinne eines »Bildelements« mutmaßlich auch im Digitalen immer wieder als Gestaltungselement benötigt wird, so wie es auch in »analogen« Techniken wie Mosaik, Bildwirkerei, Pointillismus oder Halbtonbild aus den unterschiedlichsten Gründen immer wieder neu erfunden wurde. Im Webdesign wurde die Maßeinheit »px« eingeführt, die vom historischen Pixel der 1990er Jahre abgeleitet wurde: Sie wurde definiert, um »klein, aber sichtbar« zu sein (»defined to be small but visible«), technisch genau 1/96 eines Inch oder ungefähr ein Viertelmillimeter. Demnach gilt ein »px« als ein optisch diskriminierbarer Bildpunkt (völlig gleich, ob eckig oder rund) auf einem beliebigen Display. Das Konzept des Pixels als Bildelement wird somit weiterhin gebraucht: Nicht nur als Maß für die Auflösung von optischen Ein- und Ausgabegeräten, nicht nur als einzelne Punkte in Rastergrafiken, sondern vor allem als Referenzgröße für das menschliche, erkennende Auge, das einen digitalen Bildpunkt ebenso benötigt wie die Spitze eines Bleistifts, den Ansatz eines Filzers oder das Haar eines Pinsels. Die Form ist dabei ganz einerlei. Es müsste dann aber auch nicht mehr zwingend »Pixel« heißen, sondern wäre eben ein allgemeines Bildelement.⁷



Referenzen

BECKER, Michael E.: »Pixelsalat. Von Bildschirmauflösungen, Zeichengrößen und Lesbarkeit«, in: *Computer-Fachwissen* 3 (2005), S. 4–10. URL: www.display-messtechnik.de

BLINN, James F.: »What Is a Pixel?«, in: *IEEE Computer Graphics and Applications* 25 (2005), S. 82–87. DOI: [10.1109/MCG.2005.119](https://doi.org/10.1109/MCG.2005.119)

LYON, Richard F.: »A brief history of “pixel.”«, in Proc. SPIE 6069 (2006). DOI: [10.1117/12.644941](https://doi.org/10.1117/12.644941)

SMITH, Alvy R.: »A Pixel Is *Not* A Little Square, A Pixel Is *Not* A Little Square, A Pixel Is *Not* A Little Square! (And a Voxel is *Not* a Little Cube)“, *Microsoft Technical Memo* 6 (1995). URL: alvyray.com



- 1) Es wurde vorgeschlagen, hier auch die Wertungsimplikationen von abgeleiteten Wortformen wie z.B. »pixelig«, »gepixelt« oder »verpixelt« mit ihrer jeweiligen Entwicklung zu berücksichtigen.
- 2) Es wurde die Frage nach der »Objektivität bzw. Verlässlichkeit digitaler Bilder« aufgeworfen, »insbesondere wenn diese maschinell generiert werden«, sowie die Frage »in welchem Verhältnis die Programmierer/Techniker zu den Forschern stehen, welche die zugrunde liegenden Daten erheben und die Visualisierungen zur Auswertung benutzen«. In diesem Zusammenhang wurde auf das Buch »Objectivity« von Daston und Galison hingewiesen, in dem es »ganz zentral um die verschiedentlichen Abgrenzungen zwischen Künstlern und Wissenschaftlern« gehe.
- 3) Zur Kathodenstrahlröhre – im deutschen Sprachraum auch Braunsche Röhre – wurde im Nachgang nochmals klargestellt, dass die Anregung der Materialien des Bildschirms nicht mit Röntgenstrahlen erfolge, sondern, wie der Name schon sage, mit Kathodenstrahlen: »Das sind Elektronen, die durch Erhitzen des Kathodenmaterials aus diesem austreten und dann durch ein elektrisches Feld fokussiert und beschleunigt werden und so einen Strahl bilden, der auch durch das Feld gesteuert werden kann, so dass er in sehr kurzer Zeit den Bildschirm abrastert, so dass nacheinander die Bildpunkte (Pixel) aufleuchten, das Auge aber so träge ist, dass es (wie beim Film) kontinuierliche Bilder ›sieht‹ [...] beim Auftreffen auf die Anode erzeugen die Elektronen, wenn sie ausreichend Energie durch die Beschleunigung im elektrischen Feld erreicht haben, durch Anregung der Atome in der Anode tatsächlich Röntgenstrahlen. Auf diese Weise wurden sie auch von Röntgen entdeckt. Bei Braunschens Röhren in den ersten Fernsehempfängern so in den 1950er und 1960er Jahren wurden auch tatsächlich geringe Intensitäten Röntgenstrahlung erzeugt, die aber leicht abgeschirmt werden konnten, sonst hätte man sie sich auch nicht ins Wohnzimmer stellen können, denn Strahlenschutzverordnung gab es auch schon damals. Doch heute sind die Braunschens Röhre so optimiert, dass keinerlei Röntgenstrahlung mehr entsteht, es gibt ja auch nach wie vor für diese Anwendungsgebiete. Beim Schwarzweiß-Empfänger hat man einen Kathodenstrahl, da alle Bildpunkte gleich zusammengesetzt sind und nach Anregung weißes Licht erzeugt wird. Bei Farbfernsehern hat man drei Kathodenstrahlen, die synchron gesteuert werden, wobei jeder Strahl nur die Bildpunkte trifft, die mit Material für eine Farbe – also Rot, Grün oder Blau –, versehen sind. Auch hier setzt dann erst das Auge das Bild zusammen.«
- 4) Zum LED- bzw. OLED-Empfänger wurde angemerkt, dass es sich um ein »grundsätzlich anderes Prinzip« als beim CRT handele: »Die LED-Bildpunkte sind Flüssigkristalle, die die Eigenschaft haben, dass ihre Lichtdurchlässigkeit (und damit die Farbe) von ihrer Polarisierung bestimmt wird. Und es wird nun nicht durch irgendeine Art von Strahlen, sondern durch angelegte elektrische Felder gesteuert. Für jeden Bildpunkt gibt es ein eigenes elektrisches Feld – also alles Miniaturbauweise –, und all diese Felder werden synchron so gesteuert, dass das gewünschte Bild entsteht. Vorteil der LEDs ist, dass keine Röhre mehr benötigt wird, die ja erforderlich ist, die Strahlen zu fokussieren und auf die notwendige Energie zu beschleunigen, deshalb genügen bei den LEDs Flachbildschirme; Strahlung wie Röntgen kann prinzipiell nicht entstehen, weil es keine Anregung gibt und, als schönen Nebeneffekt, die Bilder sind brillanter, da das optische Prinzip – Lichtdurchlässigkeit gegenüber Lichtemission (Phosphoreszenz) – ein völlig verschiedenartiges ist.«
- 5) Es wurde darauf hingewiesen, dass mit Windows 95 die GUIs an die Auflösung der Endgeräte anpassbar wurden, während GUIs zuvor (bis Windows 3.1) noch mit festen Maßen versehen waren. Smiths Artikel ist insofern in engem Zusammenhang mit der Weiterentwicklung des Windows-Betriebssystems zu verstehen.
- 6) Die Entstehung der Pixel Art, so wurde angemerkt, sei hinsichtlich der Frage nach der Historizität des Pixels möglicherweise mehr als Nebenschauplatz zu deuten bzw. für die Gesamtargumentation wahrscheinlich nicht als Hauptargument notwendig.
- 7) Hierzu wurde ergänzt, dass die Größe der px-Einheit dem Windows-Standardmaß für die Druckrasterung entspricht (96 dpi, auf Mac aber 72 dpi).