

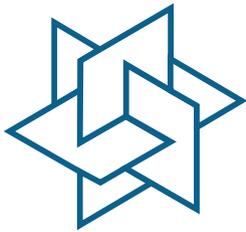
Kleine Wellen für Kunst und Kunststoff

Wavelets («Wellchen») sind ein flexibles Mittel zur Approximation von Funktionen mit sehr uneinheitlichem Verlauf. Sie eignen sich, um die Struktur eines Gemäldes zu erfassen und damit seine Echtheit zu bestimmen, ebenso wie dafür, einen Produktionsprozess unter Zeitdruck und dennoch präzise zu steuern.

Ehre, wem Ehre gebührt

Ob ein Gemälde tatsächlich aus Meisterhand stammt, ist unter Kennern häufig umstritten. Jetzt soll die Mathematik dabei helfen, Fälschungen zu entlarven.

Von Uta Deffke



Das von den drei Universitäten, dem Konrad-Zuse-Zentrum und dem Weierstraß-Institut in Berlin getragene DFG-Forschungszentrum

MATHEON

hat im vergangenen Jahr einen Medienpreis für journalistische Arbeiten zum Thema »Mathematik in technologischen Anwendungen« ausgeschrieben. Wir drucken hier die Artikel ab, die den 2. und den 3. Preis gewonnen haben. Der Artikel »Das Orakel von London« des ersten Preisträgers Dirk Schneider ist in der Zeitschrift »Zeit Wissen«, April 2007, S. 64–68, erschienen.

Im Frühjahr 2005 ging Alex Matter mit einem erstaunlichen Fund an die Öffentlichkeit: In einem Lagerhaus seines Vaters Herbert Matter auf Long Island (New York) habe er vor drei Jahren 32 Bilder des 1956 verstorbenen Malers Jackson Pollock entdeckt, eingeschlagen in braunes Papier. Herbert Matter war mit dem berühmten Vertreter des abstrakten amerikanischen Expressionismus befreundet gewesen, dessen bekannteste Bilder durch so unkonventionelle Techniken wie klecksende Farbkannen entstanden. Alex Matter war von der Echtheit der Gemälde überzeugt; zwei eigens angeheuerte Pollock-Experten kamen zum selben Ergebnis.

Anfang 2006 allerdings meldete sich die Pollock-Krasner Foundation zu Wort, die den Nachlass des Künstlers verwaltet. Sie hegt erhebliche Zweifel an der Echtheit der Bilder. Dabei stützt sie sich nicht nur auf die Aussage des hauseigenen Kunsthistorikers Francis O'Connor, sondern auch auf die Berechnungen eines Physikers.

Richard Taylor von der University of Oregon in Eugene, selbst ausgebildeter Künstler, ist seit Jahren fasziniert von dem Schaffen des amerikanischen Expressionisten. Die abstrakten Gemälde animierten ihn zu mathematischen Analysen, deren Ergebnisse er in der Fachzeitschrift »Nature« veröffentlichte. Taylor

entdeckte in den Werken Pollocks charakteristische, auf verschiedenen typischen Größenskalen wiederkehrende Muster – so genannte Fraktale. Solche Strukturen kommen häufig in der Natur vor, bei Schneeflocken etwa, bei Blumenkohl oder bei Küstenlinien, die stets gleichartige Formen zeigen, einerlei ob man sie aus der Ferne, aus der Nähe oder gar mit der Lupe betrachtet.

Nicht nachzuweisen war diese Selbstähnlichkeit aber in den Werken, die Alex Matter gefunden hatte. »In den uns zur Verfügung stehenden sechs Bildern konnten wir diese typische Handschrift Pollocks nicht finden«, ließ Taylor verlauten. Für den Physiker ein schlagkräftiger Beweis, durch den sich auch der Kunsthistoriker O'Connor bestätigt sieht. Trotzdem ist die Pollock-Krasner Foundation noch nicht zu einem endgültigen Urteil gekommen. Denn es gibt auch Experten – sowohl aus der Kunstszene als auch aus den Naturwissenschaften –, die zweifeln, ob Taylors Verfahren wirklich geeignet ist, den Stil des Malers eindeutig zu charakterisieren.

Genau das wird im Millionengeschäft mit der Kunst aber immer wichtiger. Nicht nur Liebhaber und Spekulanten, die alljährlich bei Christie's und Sotheby's horrenden Summen für Kunstwerke bieten, verlangen einen sicheren Nachweis über die Echtheit der Objekte. Auch Ausstellungsbesucher und Kuratoren wollen die Gewissheit haben, dass der Meister selbst

Pinsel oder Farbkanne geschwungen hat und nicht ein namenloser Schüler oder ein geschickter Fälscher.

Wie Taylor ist auch Rick Johnson von der amerikanischen Cornell University Wandler und Mittler zwischen zwei Welten. Seine Liebe zur Kunst entdeckte der 57-jährige Elektroingenieur als Austauschstudent in Deutschland. Damals waren es seine Hannoveraner Gasteltern, die ihn bei einem Berlin-Besuch erstmals in ein Museum mitnahmen. »Seitdem hat mich die Kunst nicht mehr losgelassen«, erzählt der Mann, der einen Strohhut und einen weißen Vollbart trägt. Zurück in Amerika machte er zusätzlich seinen Abschluss in Kunstgeschichte. Nun endlich sei die Zeit reif für eine engere Kooperation zwischen den Disziplinen.

Zu diesem Zweck organisierte er im Mai 2007 einen Workshop im Amsterdamer Van Gogh Museum. Dort trafen erstmals Mathematiker und Informatiker auf Kunstexperten aller Couleur, um sich über ihre Methoden und gegenseitigen Erwartungen auszutauschen.

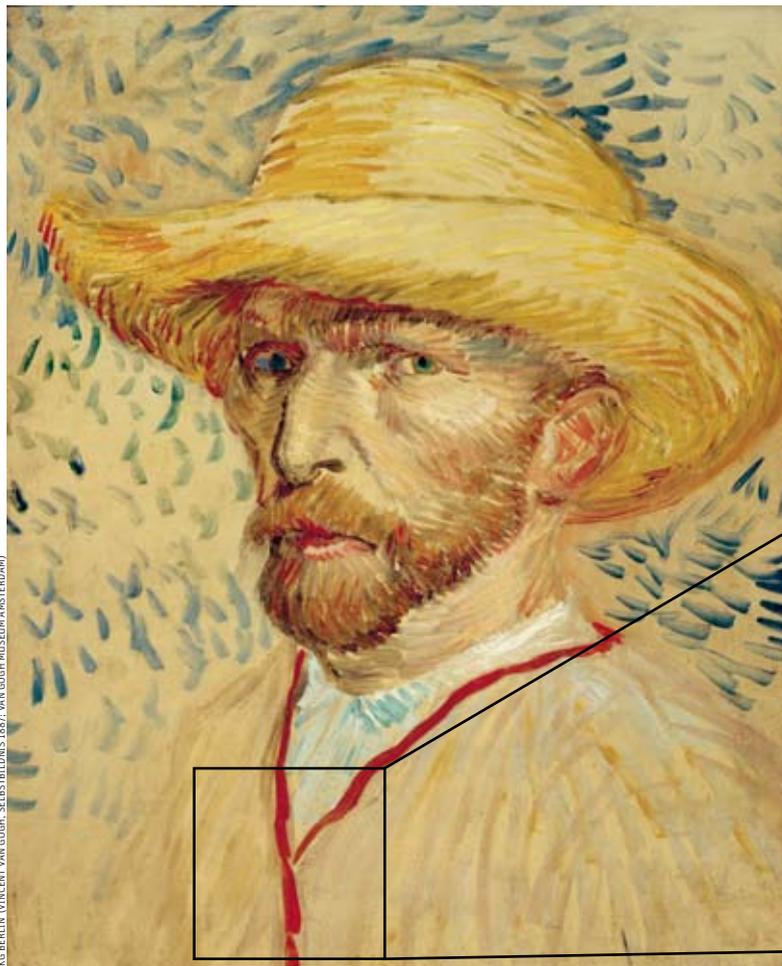
Dass sich immer mehr Vertreter dieser Wissenschaft mittlerweile auf künstlerisches

Terrain wagen, liegt an den jüngsten rasanten Fortschritten in der digitalen Bildverarbeitung. Mittlerweile können typische Merkmale eines Malers aus seinen Bildern regelrecht herausgerechnet werden. Damit sind sie in Zahlen fassbar und lassen sich leichter mit den Merkmalen weiterer Bilder vergleichen.

Analyse des Pinselstrichs

Ihren Ursprung hat die mathematisch basierte Stilkunde in der Literaturwissenschaft. Schon Ende des 19. Jahrhunderts schlug der polnische Historiker Wincenty Lutoslawski vor, statistische Methoden zur Identifizierung eines Autors und zur Analyse stilistischer Entwicklungen einzusetzen. So lassen sich tatsächlich aus der Häufigkeit bestimmter Wörter in einem Text eindeutige Rückschlüsse auf den Urheber ziehen.

»Bei Malern finden wir in Pinselstrich und Textur eines Bilds eine Art grafisches Vokabular, das sehr charakteristisch ist«, sagt Ella Hendriks, Chefrestauratorin des Amsterdamer Van Gogh Museums. Auf ihrem Labortisch landen regelmäßig Gemälde zweifelhaften Ursprungs: Funde von verstaubten Dachböden,



KONTRASTANALYSE MIT WAVELETS

Aus einem digitalen Schwarz-Weiß-Foto des »Selbstporträts mit Strohhut« von Vincent van Gogh hat ein Computer **Wavelet-Repräsentationen** für die waagerechte und die senkrechte Richtung sowie die beiden Diagonalen berechnet. An die Stelle der ursprünglichen Graustufenpixel treten nun solche, die viermal so groß sind und immer dann besonders dunkel, wenn sich im Vergleich der zusammengefassten Pixel in der entsprechenden Richtung ein hoher Kontrast ergab. Da der gezeigte Ausschnitt von einem senkrechten Pinselstrich dominiert ist, weist die senkrechte Wavelet-Repräsentation kontrastreiche Strukturen auf, während die übrigen kaum dunkle Pixel erhalten.



Selbst mit chemischen Analysen, Spektralanalysen und Röntgenaufnahmen gelingt es auch ausgewiesenen Kennern nicht immer, ein Gemälde einem Künstler zweifelsfrei zuzuordnen

private Erbstücke oder auch Werke, über die sich Experten schon seit Jahren streiten.

Wenn sie sich auf die Suche nach Indizien für den berühmten Maler Vincent van Gogh (1853–1890) begibt, verlässt sie sich zuerst auf ihren Blick. Der ist geschult an hunderten Bildern des Malers und bezieht ihr Wissen über dessen Wahl von Motiven, Leinwand, Farben, Pinseln und Techniken in die Bewertung ein. Dazu kommen reichhaltige Kenntnisse über die Biografie des Künstlers, seine Lebensumstände und seine schöpferischen Phasen. Dokumente wie Briefe, Tagebücher oder Fotos können ebenfalls nützlich sein.

Ohne technische Hilfsmittel kommen Kunsthistoriker aber heute nicht mehr aus. Ella Hendriks' Arbeitsplatz erinnert an ein Labor der Gerichtsmedizin: Über einen großen, blanken Tisch ist ein Mikroskop schwenkbar, an der Wand hängt ein Schaukasten für Röntgenbilder, in einer Ecke stehen Reagenzgläser und Chemikalien. Chemische Analysen helfen, Farben einer bestimmten Zeit, einem Hersteller oder gar einem Künstler zuzuordnen. Spektralanalysen ermöglichen den Blick auf verborgene Farbschichten. Röntgenstrahlen machen typische Leinwandstrukturen und Kohleskizzen unter der Farbe sichtbar.

Dennoch gelingt es selbst ausgewiesenen Kennern mit all diesen Methoden nicht immer, ein Bild zweifelsfrei zuzuordnen. Hier könnten statistische Methoden helfen. »Bei van Gogh beobachten wir bei bestimmten Figuren einen nahezu rhythmischen Farbauftrag«, sagt Ella Hendriks. Doch Derartiges systematisch zu charakterisieren hat noch niemand unternommen. Länge und Breite eines Pinselstrichs lassen sich noch einigermaßen per Hand ausmessen. Dagegen ist es sehr schwierig, ohne Computerhilfe Feinstrukturen, Kurvenformen oder Zusammenhänge von Breite und Länge zu beschreiben, die einen Rückschluss auf das Malgerät und die Pinselführung des Künstlers zulassen würden.

Welche Hilfestellung die Mathematik dabei schon geben kann, zeigte der Amsterdamer Workshop. Die teilnehmenden Teams hatten bereits im Vorfeld 101 Gemälde untersucht, die größtenteils von van Gogh stammen; 20 können ihm nicht oder nicht eindeutig zugeordnet werden. Da die Bilder dieses Meisters sehr gut dokumentiert und im Wesentlichen auf wenige Museen konzentriert sind, war es relativ einfach, den Wissenschaftlern reichlich schwarz-weiße Digitalfotos der Gemälde als aussagekräftige Arbeitsgrundlage zur Verfügung zu stellen.

Damit liegen sie schon als Zahlenwerk vor; denn jedem der Millionen Pixel des Fotos ist eine Graustufe und damit ein Zahlenwert zu-

geordnet. Pixel für Pixel können sich dann Computerprogramme auf die Suche nach der Handschrift des Künstlers geben.

Ingrid Daubechies, Mathematikerin von der Princeton University, setzt für die Analyse, wie die meisten der übrigen Teilnehmer, so genannte Wavelets ein. Diese Methode hat sie selbst in den 1980er Jahren entscheidend mitentwickelt und zu zahlreichen Anwendungen getrieben, zum Beispiel zur Komprimierung von Bilddaten, zur Analyse medizinischer Bilder oder auch zur Verarbeitung von Musikdaten.

Um aus den Wavelet-Daten charakteristische Merkmale für van Gogh herauszufinden, ließen die Wissenschaftler die Computerprogramme zunächst an den Daten der Originale lernen und prüften dann, ob sich die Imitate tatsächlich in diesen Punkten unterscheiden.

Die zittrige Feinstruktur verrät den Fälscher

Ingrid Daubechies entdeckte, dass es bei van Gogh einen eigentümlichen Zusammenhang zwischen Strukturen auf verschiedenen Größenskalen gibt – ein ganz ähnliches Phänomen, wie es Richard Taylor mit den Fraktalen bei Pollock beobachtete. Nur wiederholen sich die Muster hier nicht in den unterschiedlichen Dimensionen. Stattdessen haben zum Beispiel Pinselstriche bestimmter Ausmaße und Richtung stets ein gleichartig strukturiertes Innenleben.

Da einem Fälscher die sichere Hand des Meisters fehlt, kann er zwar die äußere Form eines Farbflecks recht gut treffen, eine zittrige Feinstruktur aber nicht vermeiden. Dieser Zusammenhang kommt bei feinen und groben Pinselstrichen unterschiedlich zur Geltung und ist mit bloßem Auge nicht zu erkennen.

In ihren Daten haben die Forscher viele weitere Zusammenhänge gefunden, die für van Goghs Bilder charakteristisch sind, in den Werken anderer Künstler aber nicht auftauchen. Ob und wie man diese mathematischen Unterschiede mit bloßem Auge in den Bildern wiederfinden kann, ist bislang nicht klar; aber für eine Unterscheidung zwischen Original und Fälschung könne es gleichwohl hilfreich sein, meint Ella Hendriks.

»Unser Ziel ist es, den Kunsthistorikern eine Art drittes Auge zu verschaffen, mit dem sie einen neuartigen Blick auf die Gemälde bekommen«, sagt Daubechies. »Um unsere Methoden gezielt einsetzen und entwickeln zu können, müssen wir aber noch viel mehr darüber wissen, wie die Experten Bilder betrachten.« Das sei vergleichbar mit der Bildverarbeitung in der Medizin, wo man auch viel von Ärzten habe lernen müssen.

Zu ähnlichen Ergebnissen wie Daubechies sind auch James Wang und Jia Li von der Pennsylvania State University gekommen. Sie konzentrierten sich auf die Analyse der Gemäldetextur, also der Oberflächenstruktur. Wieder fand das Programm nach Training an echten Bildern deutliche Unterschiede zwischen Originalen und Fälschungen. »Woran das genau liegt, müssen wir noch herausfinden«, sagt James Wang.

Für eine genaue Analyse müssten vor allem noch die Methoden zur Untersuchung der Pinselstriche verbessert werden. Noch können die Wavelet-Filter die Kante eines Farbkleckes nicht von einem Riss in der Farbe oder der durchscheinenden Leinwand unterscheiden.

Bislang liefert auch keine der neuen Methoden Resultate, auf die sich ein Kunsthistoriker in seinem Urteil verlassen würde. Das haben die Experten aber auch nicht erwartet.

»Wir stehen schließlich noch ganz am Anfang unserer Arbeit und wollen erstmal voneinander lernen«, sagt Rick Johnson. In Zukunft erwartet er eine wahre Explosion auf dem Gebiet der digitalen Kunstanalyse. Denn Museen gehen vermehrt dazu über, ihre Kunstschätze auch digital zu archivieren. Dieser Datenschatz müsse nur noch von Mathematikern entdeckt werden.

»Ob sich hier tatsächlich ein neues praktisches Werkzeug für uns entwickeln wird, werden wir sehen«, sagt Louis van Tilborgh, Kurator des Van Gogh Museums. »Grundsätzlich sind wir aber auch für diese Art von Hilfsmittel offen.« Denn die Kunsthistoriker haben trotz ihrer Kennerschaft und abseits der bloßen Identifizierung noch viele offene Fragen an den Stil eines Künstlers, die sie hoffen, vielleicht eines Tages auch mit Computerhilfe beantworten zu können. <



Uta Deffke ist promovierte Physikerin und arbeitet als freie Wissenschaftsjournalistin im Journalistenbüro Schnittstelle in Berlin. Sie schreibt vorwiegend über Technik, Physik, Mathematik, Werkstoffe und Energie.

Fractal analysis of Pollock's drip paintings. Von Richard P. Taylor, Adam P. Micolich und David Jonas in: Nature, Bd. 399, S. 422, 1999

Möglichst optimal, aber vor allem rechtzeitig

Echtzeitoptimierung ist Rechnen bei laufender Produktion – mit dem Zeitdruck im Nacken.

Von Claas Michalik und Arndt Hartwich

Optimierung betreibt jeder im täglichen Leben. Was tun Sie, wenn Ihnen der Kaffee zu stark ist? Sie nehmen am nächsten Morgen etwas weniger Kaffeepulver und am darauffolgenden vielleicht noch weniger, bis der Kaffee genau so ist, wie Sie ihn gerne trinken. Wenn Sie sehr anspruchsvoll sind, werden Sie nach einiger Zeit die Kaffeemenge wieder anpassen müssen, da das Kaffeepulver durch die Lagerung seine Eigenschaften verändert. Das Leitungswasser unterliegt Qualitätsschwankungen und wird beispielsweise im Sommer stärker mit Chlor versetzt. Vielleicht setzt sich auch die Kaffeemaschine auf die Dauer mit Kalk zu.

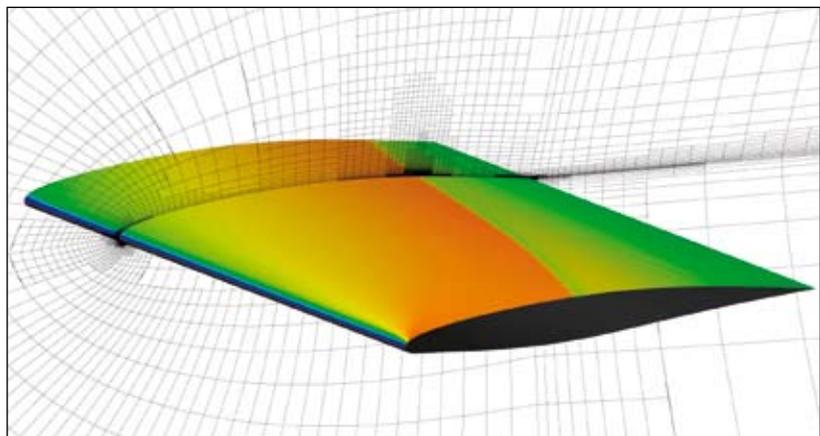
Wer stets den perfekten Kaffee will, muss alle diese Einflussfaktoren ständig überprüfen und, was noch schwieriger ist, die Menge des Kaffeepulvers und andere Größen immer auf die aktuellen Bedingungen einstellen. Im Extremfall müssten Sie vor der perfekten Tasse Kaffee jeden Morgen drei bis vier Probetassen aufsetzen – und wegschütten.

Stellen Sie sich nun statt der biedereren Kaffeemaschine eine großtechnische Anlage zur

Herstellung eines Medikamentes vor, das strenge Anforderungen erfüllen muss, damit es gefahrlos verwendet werden kann. Hier gibt es eine Vielzahl von Einflussparametern, wie die schwankende Qualität der Ausgangsstoffe, und Stellgrößen, wie deren Menge; und wenn die Maschine nicht einen Großteil der Zeit ein unverkäufliches Produkt herstellen soll, muss man das schlichte Probieren durch ein strukturiertes Vorgehen ersetzen.

Das wichtigste Prinzip lautet: Man soll die Qualität des Kaffeepulvers nicht erst am fertigen Kaffee bestimmen, sondern an den ersten

Das (zweidimensionale) Netz der Diskretisierung zur Berechnung der Strömung um einen Tragflügel. Wo Luftdichte und -geschwindigkeit stark variieren, wie an der Flügelvorderkante, wird eine hohe Auflösung benötigt. Diese auf das gesamte Rechengebiet anzuwenden würde nur den Aufwand drastisch erhöhen, ohne nennenswert Genauigkeit einzubringen.



STEFRIED MÜLLER, LGPM, RWTH AACHEN