

Ursachen und Hintergründe städtischen Baumsterbens

(Andrew Goldsworthy 2011)

Einleitung

Überall in Europa ist derzeit ein mysteriöses Baumsterben durch verschiedenste Krankheiten zu beobachten. Nicht nur zeigen die Bäume anormale Reaktionsmuster gegenüber Licht (gestörte Photosynthese), darüber hinaus bilden viele krebsgeschwulstähnliche Wucherungen unter ihrer Rinde (sog. Phloem-Knoten). Oft bricht die Rinde auf, wodurch die nicht mehr durchgängig geschützte darunterliegende Schicht des Stammes anfällig für vielerlei Infekte wird.

All dies lässt sich durch die Einwirkung niederfrequenter Funkstrahlung von Handis, Sendemasten, WLAN und ähnlichen Quellen nicht-ionisierter Strahlung erklären.

Aber werfen wir zunächst einen Blick darauf, wie sich lebende Organismen selbstproduzierten Strom zunutze machen. Strom, der ihre Vitalfunktionen, ihren täglichen Metabolismus sowie ihr Wachstum ermöglicht. Anschließend wird daraus ersichtlich, inwiefern schwache elektromagnetische Felder diese Funktionen negativ beeinflussen und eine Vielzahl unerwünschter biologischer Auswirkungen nach sich ziehen.

Elektrizität in lebenden Organismen

Ionen (=Elektrisch geladene Atome und Moleküle) dienen als Transportvehikel für Strom in lebenden Organismen. Die innerhalb des Metabolismus erzeugte elektrische Energie pumpt die Ionen durch die Zellmembrane. Die Zellmembran setzt sich aus einer semifluiden hauptsächlich aus Lipiden und Proteinen bestehenden Schicht zusammen. Entlang dieser Membran wird ein *elektrochemischer Gradient* (d.h. ein Konzentrations-Gradient der mit einer bestimmten elektrischen Spannung kombiniert ist) erzeugt. Dieser ist zugleich Energiespeicher und steht für vielfältige Zwecke zur Verfügung. Die elektrische Komponente dieses Gradienten, auch *Membran-Potential* genannt, liegt in der Regel bei mehreren zehn Millivolts.

Die chemiosmotische Erzeugung von ATP in Bakterien

Selbst einfachste Zellen wie z.B. Bakterien nutzen das Prinzip der Elektrizität. Bakterien nutzen die Energie, die sie aus der Verstoffwechselung ihrer Nahrung ziehen, um positiv geladene Wasserstoff-Ionen durch die äußere Zellmembran nach draußen zu pumpen, woraus der sogenannte elektrochemische Gradient resultiert. Danach werden diese Ionen wieder zurückgeschleust woraufhin die Energie dieses Gradienten von einem Enzym namens ATPase weiterverwertet wird, indem es daraus ATP (=Adenosintriphsphat) generiert. Dieser Vorgang nennt sich *Chemiosmose*. Für die Zelle stellt ATP die Hauptenergiequelle dar und kann für eine Reihe von Zwecken genutzt werden.

Ionen-Cotransport

Die Energie des elektrochemischen Gradienten wird u.a. von *Transportenzymen* genutzt, um aktiv Nährstoffe in die Zelle einzuschleusen.

Transportenzyme koppeln die passive Ionenbewegung mittels des elektrochemischen Gradienten mit dem aktiven Transport anderer Stoffe in einem Prozess der als *Ionen-Cotransport* bezeichnet wird. Dieser wird als ausschlaggebender Mechanismus für aktive Transporte ins Zellinnere angesehen.

Die Situation bei hochentwickelten Pflanzen

Hochentwickelte Pflanzen, beziehen den Großteil ihrer ATP aus den *Mitochondrien* (=Minizellkraftwerke), die Nährstoffe bei Dunkelheit oxidieren und Chloroplasten* aus Licht photosynthetisieren. *) Bei **Chloroplasten** (griech. chloros = grün) handelt es sich um jene Organellen, die den Pflanzen und Algen ihre typisch grüne Farbe verleihen. In den Chloroplasten findet die Synthese des grünen Farbstoffs Chlorophyll statt, der das Sonnenlicht absorbiert und zum Reaktionszentrum der Pflanze weiterleitet, Anmerkung der Übersetzerin.

Mitochondrien sind Organellen, die sich über Jahrtausende hinweg aus Bakterien entwickelt haben, indem Vorläufer tierischer und pflanzlicher Zellen sich diese Bakterien einverleibten um fortan in Symbiose mit ihnen zu leben. Genau wie die ursprünglich frei lebenden Bakterien produzieren sie mittels elektrisch herbeigeführter Chemiosmose ATP. Jedoch stellen sie einen Teil des ATP's der pflanzlichen (oder tierischen) Zelle zur Verfügung.

Pflanzenzellen nutzen einen Teil des ATP's, um Wasserstoff-Ionen durch ihre **eigene Zellmembran** nach außen zu pumpen, wobei ein weiterer elektrochemischer Gradient erzeugt wird, der wiederum für das Aus- und Einschleusen von Nährstoffen durch Ionen-Cotransport verantwortlich ist. Daraus ergibt sich, dass die Effizienz dieser Prozesse in hohem Maße von den isolierenden Fähigkeiten der Zellmembran abhängt. Wenn durch künstliche elektromagnetische Ströme Lecks verursacht werden, reduziert sich die der Zelle zur Verfügung stehende Energie: Die Zelle funktioniert und wächst dann nicht mehr so gut wie bisher.

Zellpolarität

Das Membran-Potential hat darüber hinaus die Aufgabe, eine elektrische Spannung zwischen den beiden Zell-Enden herzustellen, was wiederum die *Zellpolarität* erzeugt. Zellpolarität bedeutet, dass das eine Ende der Zelle sich in Bezug auf seine jeweilige Ladung vom entgegengesetzten Ende der Zelle unterscheidet. Die Zellpolarität ist elektrisch festgelegt.

Zum Beispiel werden in einer vertikal-wachsenden Zelle Ionen über so gut wie die gesamte Zelloberfläche ausgepumpt. Am vertikalen Ende der Zelle werden sie jedoch wieder nach innen durchgelassen, da dort der größte Energiebedarf besteht. Dies wiederum führt - verglichen mit der restlichen Zelloberfläche - zu einer leichten Negativ-Ladung im Bereich dieses Zell"scheitels". Man bezeichnet dies als *transzelluläres Potential*. Die Spannung beträgt typischerweise ca. 1 Millivolt, was

ausreicht, unterschiedlich geladene chemische Stoffe *elektrophoretisch** an unterschiedlichen Stellen entlang der Zellachse zu positionieren. Dies führt zur physiologischen Ausdifferenzierung der beiden Zell“enden“ und trägt zur Erzeugung und Aufrechterhaltung der Zellpolarität bei. *) *Elektrophorese bezeichnet die Wanderung geladener kolloidaler Teilchen oder gelöster Moleküle durch ein elektrisches Feld. Anm. d. Übers.*

Polarität innerhalb von Zellgewebe

Wenn polar geladene Zellen sich teilen, ordnen sich die Tochterzellen üblicherweise in derselben Pol-Anordnung. Wenn eine Säule aus Zellen entsteht, wie z.B. zur Formung eines Baumstammes, sind die Tochterzellen seriell gleichgerichtet, sodass sich ihre Polarität verstärkt. Wenn wir Messelektroden in unterschiedlicher Höhe am Baumstamm anlegen, können wir, je höher wir gehen, höhere elektrische Spannungen messen, die somit der Summe der vorab involvierten Zellen entsprechen. Aufgrund der komplexen Struktur eines Baumes ist die Sache jedoch nicht ganz so einfach.

So lässt beispielsweise das Kambium horizontal orientierte Zellverbände entstehen, da es zur Bildung des Baumumfanges beiträgt. Ebenso mag es unterschiedliche elektrische Spannung im Bereich unterschiedlicher Baumteile geben, da die jeweiligen Zellverbände Ionen-Ströme nutzen, um Nährstoffe zu absorbieren. **Nichtsdestotrotz bilden die unterschiedlichen Stromspannungen, die sich an unterschiedlichen Baumabschnitten messen lassen einen vernünftigen Maßstab seiner physiologischen Aktivität ab.** Mehr dazu später.

Die Zellmembran

Wie bisher ersichtlich machen sich Pflanzen Gleichstrom ausgiebig für eine Vielzahl an Zwecken zunutze. Wechselstrom hingegen nutzen sie grundsätzlich nicht. In der Tat erweisen sich künstlich erzeugte Wechselstromfelder als schädlich. Auf diesen Zusammenhang stießen Suzanne Bawin und ihre Mitarbeiterinnen in den 1970ern, als sie herausfanden, dass schwache elektromagnetische Felder in der Lage waren, Kalzium-Ionen aus der Zellmembran tierischen Gehirngewebes herauszulösen.

Kalzium-Ionen spielen insofern eine wichtige Rolle, als dass sie - positiv geladen - dabei helfen, die negativ geladenen Moleküle zu bündeln, die den Großteil der Zellmembran ausmachen. Vergleichbar in etwa mit Zement, der die einzelnen Ziegelsteine einer Mauer zusammenhält. Wenn nun diese Kalzium Ionen durch Wechselstrom herausgelöst werden, schwächt dies die Zellmembran, indem es sie durchlässiger werden lässt. Was wiederum eine Reihe biologischer Effekte zeitigt. Eine der Auswirkungen zeigt sich u.a. in der erheblichen Herabsetzung des Spannungspotentials innerhalb der Membran individueller Zellen. Dadurch nimmt die zellinterne Energieerzeugung und -nutzung ab. Kümmerliches Wachstum und Kraftverlust sind die Folge. Aufgrund dieses plausiblen Nebeneffekts beim transzellulären Potential könnte ein ordnungsgemäßes polar angeordnetes Wachstum des Zellgewebes unterbrochen werden und zur Bildung unorganisierter krebsähnlicher Strukturen beitragen.

Wie immer dem auch sei, - der am meisten Sorge bereitende Effekt besteht im Eindringen von Lysosomen (bei Tieren) und Vakuolen (bei Pflanzen); beide enthalten toxische Stoffe und Verdauungsenzyme, die normalerweise dafür gedacht sind, Abfallstoffe zu verwerten, bzw. aufzubereiten. Diese Enzyme beinhalten die sogenannte DNase, die DNA-zerstörend wirkt und bereits viele Male in befallenem Tiergewebe nachgewiesen werden konnte. DNase ist in der Lage, die DNA bereits innerhalb weniger Stunden EMF-Exponierung in Kleinsteile zu zerlegen.

Dies kann zu Mutationen, Verlust der zellulären Funktionen und potentiell Zelltod führen. Dasselbe mag für Pflanzen und Bäume gelten.

Schwache Wechselstromfelder zeigen mehr Auswirkung als starke

Beim Versuch, diejenigen Feldstärken zu orten, die Kalzium aus der Zellmembran lösen, stieß man auf die Entdeckung, dass dies nur innerhalb eines schmal bemessenen Amplituden-Fensters geschah. Oberhalb und unterhalb dieser Messwerte passierte nichts oder nur unbedeutend wenig.

Dies lässt sich anhand einer simplen Analogie erklären:

Stellen Sie sich vor, Sie würden reife Äpfel ernten, indem sie an einem Baum rütteln. Wenn Sie nicht stark genug rütteln, tut sich nichts. Schütteln Sie hingegen sehr stark, fallen alle Äpfel vom Baum (auch die noch nicht reifen). Aber irgendwo dazwischen, wenn man mit genau der richtigen Stärke (Amplitude) schüttelt, fallen lediglich die reifen Äpfel herunter.

Übertragen wir dies nun auf die Zellmembran:

Sie setzt sich zusammen aus negativ geladenen Komponenten, die von positiv geladenen Ionen zusammengehalten werden, von denen wie gesagt Kalzium mit seiner doppelt positiven Ladung die größte Rolle spielt.

Davon abgesehen existieren freilich noch andere Ionen, wie z.B. Potassium. Da diese jedoch nur einfach positiv geladen sind, sind sie kaum betroffen. Wenn nun ein Wechselstrom-Feld auf die Membran einwirkt, versucht die Membran synchron mit dem Feld zu vibrieren, wobei die negativ geladenen Membran-Komponenten sich in eine Richtung ausrichten, während ihre positiv geladenen Ionen in die entgegengesetzte Richtung tendieren. Solange das Feld schwach ist, geschieht nichts Spektakuläres. Ist es sehr stark ist, vibrieren alle Ionen synchron mit dem Feld ohne dass ein genereller Wechsel innerhalb der Ionen-Balance zu beobachten wäre.

Setzt man jedoch irgendwo auf der Skala zwischen schwach und stark an, geht ein „Amplituden-Fenster“ auf, in dem das Feld exakt so stark ist, dass sich lediglich die doppelt-positiv geladenen Kalzium-Ionen herauslösen. Ihr Platz wird dann unmittelbar von lediglich einfach positiv geladenen, wie z.B. den Potassium-Ionen eingenommen. Mit dem Ergebnis, dass unter jedem künftigen Wechselstromfeld-Zyklus die Membran mehr geschwächt wird, solange bis erste biologische Auswirkungen sichtbar werden.

Nachweisbarkeit biologischer Effekte elektromagnetisch aufbereiteten Wassers

Elektromagnetisch funktionierende Wasser-Aufbereitungs-Vorrichtungen werden heutzutage mehr und mehr eingesetzt, um Kalkablagerungen aus Abflussrohren zu entfernen. Sie verändern die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Wassers und des darin enthaltenen verunreinigenden Kalziumanteils, indem die Kalzium-Ionen durch Anziehung herausgefiltert werden.

Ihre Funktion bedient sich des Einsatzes schwacher elektromagnetischer Felder mittels Antennen, die spiralförmig um den Wasserzulauf gewunden sind. Wir benutzten diese, um unsere Hypothese zu verifizieren, dass es sich hierbei um die gleichen Wirkmechanismen handelt, die das Kalzium durch Applizieren elektromagnetischer Felder aus den oben erwähnten Zellmembranen herauslöst.

Nachdem wir viele Experimente auf sowohl Hefepilz-Kulturen als auch auf die Setzlinge höherentwickelter Pflanzen angewandt hatten, gingen wir davon aus, dass sich die gleichen Effekte zeigen würden.

Was jedoch genau geschah, hing davon ab, wie lange das jeweilige Wasser dergestalt aufbereitet worden war. Bewässerung mit weniger als einer halben Minute elektromagnetisch aufbereiteten Wassers stimulierte die Keimung und das Wachstum der Weizensamen. Jedoch hielt die Stimulation nicht lange an und die unbehandelten Kontrollkeimlinge holten im Wachstum auf.

Wasser, das hingegen für längere Zeit aufbereitet worden war, verhinderte jegliches Wachstum bereits von Anbeginn der Aussaat an.

Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass das schwach aufbereitete Wasser (weniger als eine halbe Minute) weniger Schaden an den Zellmembranen anrichtet, indem diese Reparaturmechanismen aufbringen, inklusive Enzym-Synthese und Produktion anderer wachstumsverantwortlicher Stoffe. Jedoch kann dies nur für eine gewisse Zeit geschehen, da sich die hierfür benötigten Ressourcen erschöpfen, wodurch die Wachstumsstimulation aufhört und die unbehandelten Setzlinge im Wachstum aufholen

Dementsprechend lässt sich vermuten, dass das länger aufbereitete Wasser so starken Schaden anrichtet, dass eine initiale Wachstums-Stimulierung erst gar nicht statt findet, so dass lediglich die komplette Verhinderung auffällt. Dieser scheinbar entgegengesetzte Effekt bezüglich direkter Exposition durch elektromagnetische Felder ist weit verbreitet.

Kürzere Bestrahlung scheint hierbei das Wachstum anzukurbeln, längerfristige Bestrahlungszeit verhindert dieses komplett. Das könnte es sein, was bei unseren Bäumen die Risse in der Rinde und die Knotenbildung darunter hervorruft.

Eingerissene Rinde

Wenn Wachstum ursächlich von elektromagnetischen Feldern hervorgerufen wird, können wir davon ausgehen, dass dasjenige Gewebe, das vorrangig auf Wachstum programmiert ist, als allererstes angesprochen wird. Dies beträfe die Zellen des Kambiums, die sich normalerweise teilen, um den Umfang eines Baumes voranzutreiben. Geschähe dies zu schnell, wären Risse in der Rinde die Folge und die Risse könnten danach zum Eindringen von Infektionen führen. So gesehen wäre dieses „Mehr an Wachstum“ eine ganz und gar nicht gute Sache.

Knoten unmittelbar unter der Baumrinde (Phloem-Knoten)

Diese lassen sich erklären, indem wir unser Wissen über pflanzliche Zell-Gewebs-Kulturen anwenden. In der Regel werden hierfür Stücke einer Pflanze auf einen Nährstoffträger gebettet, der hochkonzentrierte Wachstumshormone enthält. Dies veranlasst die Pflanzenfragmente große Mengen an nichtausdifferenziertem *Kallus** zu bilden, der sich immerzu weiter bildet, solange der Hormonnachschub aufrechterhalten wird. *)Als *Kallus* werden undifferenzierten Zellkomplexe mit ungerichtetem Wachstum bezeichnet, die nach einer Verwundung entstehen können. Bei Holzgewächsen entsteht der Kallus aus dem Kambium durch hypertrophes Wachstum der unverletzten Randzellen und anschließende intensive Zellteilung, Anm. d. Übers.

Wenn die Hormonkonzentration reduziert wird, indem man den Kallus auf einen hormonärmeren Träger bettet, geschieht es, dass es sich zu etwas herausdifferenziert, was Phloem-Knoten ähnlich sieht, indem es eine Form annimmt, die so aussieht wie von Kallus umgebenes vaskuläres Gewebe. Und bei den Bäumen? Wenn die elektromagnetische Stimulierung eine Mehrproduktion an Wachstumshormonen impliziert, könnte dies sehr wohl die Bildung von undifferenziertem Kallus und krebsähnliches Geschwulste beim Phloem verursachen. Wenn die Phase schnellen Wachstums abflaut, sind weniger Hormone verfügbar und der Kallus differenziert sich dergestalt aus, dass er jene Ausformung zentralvaskulären Gewebes annimmt, die so charakteristisch für Phloem-Knoten ist.

Die Biologische Uhr

jeder lebenden Pflanzen- und Tierzelle wohnt eine unter normalen Umständen akkurat funktionierende Biologische Uhr inne. Sie ermöglicht, die jeweilige Tageszeit zu erfassen, damit Morgen- und Abenddämmerung *antizipiert* werden können. Die Zelle benötigt diese Zeitinformation, da ihr jeweiliger Bedarf an speziellen Enzymen je nach Tages- oder Nachtzeit unterschiedlich geartet ist. Da die Enzymproduktion einige Zeit braucht, muss deren Synthese bereits starten, bevor die Enzyme konkret zum Einsatz kommen. Die Biologische Uhr fungiert somit als eine Art Wecker, der die Zelle in Bereitschaft setzt, ihr „Tagesgeschäft“ vor Anbruch der Morgendämmerung aufzunehmen.

An diesen Uhr-Mechanismus ist eine Vielzahl metabolischer Prozesse gekoppelt; je nachdem ob es sich um den Übergang der Nacht zum Tag oder umgekehrt um den vom Tag zur Nacht handelt. Auf dieser Grundlage entstehen die sogenannten *circadianen Rhythmen*, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sie sich unter

gleichbleibenden Bedingungen kontinuierlich im ungefähren 24-Stunden-Takt fortsetzen.

Funkfrequenz bringt die Biologische Uhr durcheinander

Leider stellen Funkfrequenzen eine erhebliche Störquelle dieser natürlichen Biologischen Uhr dar. Wie dies geschieht, konnten wir anhand von Potential-Messungen an Bäumen in Alphen aan den Rijn und in Wageningen (Holland) sehen. Die Potentiale (welche einen Maßstab für die physiologische Aktivität eines Baumes darstellen) folgten einem 24-Stunden Rhythmus, wurden jedoch bereits innerhalb einiger Wochen schwächer, wenn sie durch von WLAN ausgehende Mikrowellen bestrahlt wurden.

Dies sind schlechte Neuigkeiten. Es bedeutet kurz gesagt, dass alles, was von dieser Uhr kontrolliert wird, unter den gegebenen Umständen niemals zur optimalen Höchstform auflaufen kann. Mit das Wichtigste, was dieser Biologischen Uhr unterliegt, ist das Immunsystem. Das reibungslose Funktionieren des Immunsystems benötigt sehr viel Energie. Bei Pflanzen wird es normalerweise dann aktiviert, wenn die Pflanze „denkt“, der Tagesanbruch stünde unmittelbar bevor (subjektiver Tag). Eine Zeitspanne, während der normalerweise durch Photosynthese gespeicherte Energie vom Vortag übrig ist.

Bei Tieren wiederum funktioniert das Immunsystem am besten bei Nacht, wenn der durch Schlaf herbeigeführte Mangel an physischer Aktivität überschüssiges „Energie-Kapital“ anspart. Wenn jedoch aufgrund von künstlicher elektromagnetischer Strahlung die Uhr nicht naturgemäß funktionieren kann, **wird das Immunsystem zu keiner Tages- oder Nachtzeit optimal funktionieren** und sowohl Pflanze als auch Tier werden anfälliger für eine Reihe von Krankheiten, für die normalerweise keine Anfälligkeit bestünde.

Cryptochrome und die Biologische Uhr

Die Auswirkung elektromagnetischer Felder ist aller Wahrscheinlichkeit nach einem Farbstoff namens Chryptochrom geschuldet. Dieses Farbpigment ist ein überaus wichtiger Bestandteil der natürlichen Uhr. Chryptochrome werden von Funkwellen beeinträchtigt, indem diese Elektronen zwischen zwei *freie Radikale* schaufeln. Freie Radikale sind magnetisch und das Dazwischenschaukeln von Elektronen wird sowohl von permanenten Magnetfeldern als auch künstlichen Funkfeldern hervorgerufen. Die verantwortlichen Frequenzen sind niedriger als Mikrowellen, können jedoch durch modulierte Mikrowellen die als Träger für Informationen oder Sprache fungieren entsprechend generiert werden.

Diese Auswirkung auf Chryptochrome wurde erstmals 2004 von Ritz und seinen Mitarbeitern bei Vögeln (Wanderdrosseln) entdeckt. Wanderdrosseln nutzen ihre Sensibilität gegenüber permanenten Magnetfeldern als Navigationssystem, indem sie sich am natürlichen Erdmagnetfeld ausrichten. Man fand heraus, dass die Vögel nicht mehr in der Lage waren, sich an ihrem internen Navigationssystem zu orientieren, sobald sie einer bestimmten Bandbreite an Funkwellen ausgesetzt waren. Wenn dies aufs Navigatonssystem von Tieren zutrifft, spielt es höchst-

wahrscheinlich auch für das Zeitgefühl und den störanfälligen circadianen Rhythmus eine Rolle.

Wir konnten dies bereits bei Menschen beobachten. Menschen, die zu nahe an Mobilfunkmasten wohnen berichten häufig über mangelhaften Schlaf und Abgeschlagenheit am Tag. Vermutlich entweder weil ihr circadianer Wach-Schlaf-Rhythmus gestört ist oder weil ihre interne Amplitude sich verringert hat, wie wir es bei unseren Bäumen gesehen haben.

Auswirkung auf die Entlaubung von Bäumen

Eine noch offensichtlichere Nebenwirkung von Funkwellen auf die Biologische Uhr zeigt sich im Abwerfen von Blättern und/oder Früchten mancher Bäume. Normalerweise geschieht dies als photoperiodische Antwort auf kürzer werdende Herbsttage, da die Tageslänge von der Biologischen Uhr gemessen wird. Eine zunehmende Anzahl an Bäumen wirft ihre Blätter und/oder Früchte indes nicht mehr der Jahreszeit entsprechend ab. Bei manchen bleiben sie sogar im Winter hängen. Besonders betroffen sind hiervon vor allem Eiche und Buche; jedoch kommt dies auch bei anderen Baumarten vor. Dies ist ein Anzeichen dafür, dass die Biologische Uhr und der circadiane Rhythmus dieser Bäume nicht mehr ordnungsgemäß funktionieren.

Als ernstzunehmender Rückschluss gilt, dass somit die an diese Uhr gekoppelten Immunsysteme ebenfalls nicht mehr richtig funktionieren. Daraus bedingt sich erwartungsgemäß eine höhere Anfälligkeit gegenüber Krankheiten, ja die Bäume können früher oder später sogar ganz absterben.

Mit ähnlichen Auswirkungen auf Mensch und Tier ist zu rechnen.

Dr. Andrew Goldsworthy
Dozent für Biologie
Imperial College London
(mittlerweile in Ruhestand)

Englischer Originaltext mit Hinweisen auf weiterführende Literatur:

<http://www.puls-schlag.org/download/Goldsworthy-2011-02-18.pdf>

Übersetzung aus dem Englischen: Almuth Gäbler