

Die Neurobiologie der Unsicherheit

Unvorhergesehenes
regt das Gehirn zum Lernen an

von Regina Kremer



Unsicherheit gehört zum Leben. Sie weckt unsere Bereitschaft zum Lernen, fördert Flexibilität und wirkt sich produktiv auf unser Verhalten aus. Sie kann uns Glücksmomente bescheren, aber auch das Gefühl von Bedrohung und Angst. Neurophysiologen entdecken gerade erst, wie das Gehirn mit Unsicherheit umgeht.

Ein gelingender Umgang mit Unsicherheit ist eine Grundlage für eine erfolgreiche Lebensgestaltung«, davon ist der Neurophysiologe Prof. Jochen Roeper überzeugt. Er definiert Unsicherheit als eine tägliche Konfrontation mit Unbekanntem. Im Grunde ist keine Situation wie eine andere, aber das Gehirn hat einen großen Satz an ähnlichen Situationen aus früheren Erfahrungen abgespeichert. So entsteht allmählich das Gefühl, dass man sich auskennt.

Doch bis sich der Mensch in einer sich permanent ändernden, unsicheren Umwelt souverän bewegen kann, muss das Gehirn unglaublich viel Weltwissen einlesen. Die Sinnesorgane senden von Geburt an jede Sekunde Millionen von Einzeleindrücken an das Gehirn. Nur wenige davon nimmt der Mensch bewusst wahr. Der weitaus größte Teil bleibt unbewusst, wird aber in neuronalen Netzwerken u. a. auch in der Großhirnrinde (Cortex) weiterverarbeitet. So wird die individuelle und aktuelle Umwelt eines jeden Menschen neuronal repräsentiert. Entscheidend ist aber, dass damit neuronale Netzwerke auch Voraussagen treffen, welche Konsequenzen, Handlungschancen, aber auch Bedrohungen sich aus einer aktuellen Situation ergeben. Der Abgleich zwischen Repräsentation und Voraussage gehört zu den fundamentalen Arbeitsmodi des Gehirns (predictive coding).

An diesen neuronalen Netzwerken ist auch das dopaminerge System des Mittelhirns essenziell beteiligt. Durch die Ausschüttung des Neurotransmitters Dopamin wird angezeigt, welche Reaktionen und Handlungen in einem bestimmten Kontext erfolversprechend sind. Es wird in angenehmen, besonders aber in überraschenden Situationen freigesetzt. Dies kann man so verstehen, dass das Gehirn ein Update seiner

Voraussagen macht. Es ist ein Lernen, das in Folge Unsicherheit reduziert.

Lange Ausreifphase des Gehirns schafft lebenswichtige Grundlagen

Im embryonalen Gehirn geschieht während der Schwangerschaft Unglaubliches: Pro Minute bilden sich rund 250 000 neue Nervenzellen (Neurone) und pro Sekunde entstehen 1,8 Millionen neue Verbindungen durch das Zusammenspiel eines genetisch kodierten Adress-Systems und elektrischer Aktivität. Während die meisten Organe zum Zeitpunkt der Geburt komplett ausgebildet und arbeitsfähig sind, ist das Gehirn lediglich angelegt. Es befindet sich sozusagen im Rohbau. Etwa 100 Milliarden Neurone generieren eigene Aktivitäten, um sich zu funktionellen Netzwerken zu verknüpfen. Sie sind der Input, der die Ausreifung und Verarbeitung von Reizen aus der Außenwelt vorbereitet.

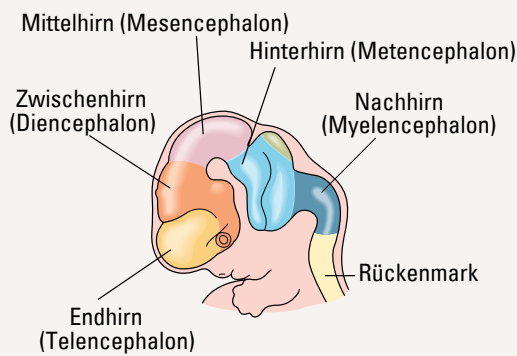
Die Bedeutung des menschlichen Gehirns im Wandel der Zeit

Der französische Philosoph **René Descartes** (1596–1650) vertrat die Auffassung, dass das Bewusstsein die wichtigste Eigenschaft des Menschen ist: »Ich denke, also bin ich.«

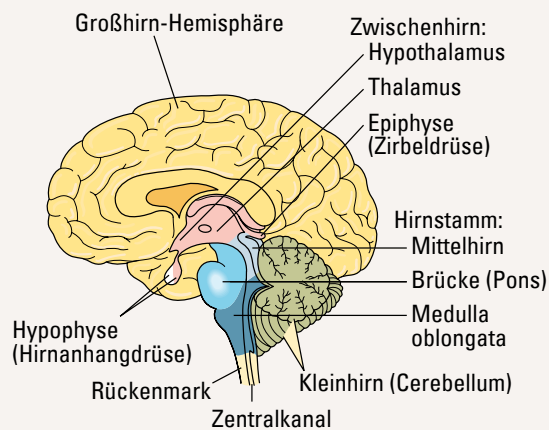
Sigmund Freud (1856–1939) beschäftigte sich als einer der Ersten mit dem Unterbewusstsein. Er sah es als eher negative, bedrohliche Kraft. Heute sieht man das Unterbewusste hingegen als Voraussetzung für die Steuerung und Veränderung des menschlichen Verhaltens.

Wolf Singer, emeritierter Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnforschung und Senior Research Group Leader am Ernst Strüngmann Institute für Neuroscience in Frankfurt, sieht das Gehirn dagegen als ein »selbst-aktives System, das sich die Welt aufgrund von ganz wenigen Signalen zurechtlegt«. [FAZ 09.09.2012]

EMBRYONALES UND ERWACHSENES GEHIRN IM VERGLEICH



Fünfwöchiger Embryo



Erwachsener

Das Gehirn ist das einzige menschliche Organ, das bei der Geburt erst im Rohbau angelegt ist. Es benötigt ca. 30 Jahre zum Ausreifen.



Zur Person

Prof. Dr. Jochen Roeper, Jahrgang 1964, studierte Humanmedizin und promovierte 1992 an der Universität Hamburg. Nach einem Postdoktorat an der Universität Oxford in Großbritannien war er von 1994 bis 1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Molekulare Neurobiologie der Universität Hamburg. Anschließend übernahm er 1999 eine Assistenzprofessur in der Abteilung Anatomische Neuropharmakologie an der Universität Oxford. 2002 folgte er einem Ruf auf eine C3-Professur am Institut für Physiologie der Philipps-Universität Marburg. Seit 2007 ist er Professor für Neurophysiologie und Direktor des Zentrums für Physiologie der Goethe-Universität Frankfurt. Das Institut für Neurophysiologie ist Teil des Neuroscience Center der medizinischen Fakultät. Ropers Forschungsschwerpunkt ist die Untersuchung der funktionellen Vielfalt des dopaminergen Mittelhirnsystems. Dabei werden auch die Krankheitsmechanismen von Schizophrenie und Morbus Parkinson anhand von Mausmodellen erforscht. Er ist Mitglied des Rhine-Main Neuroscience Networks (rmn2) und Fellow des Gutenberg Forschungskollegs der Universität Mainz.

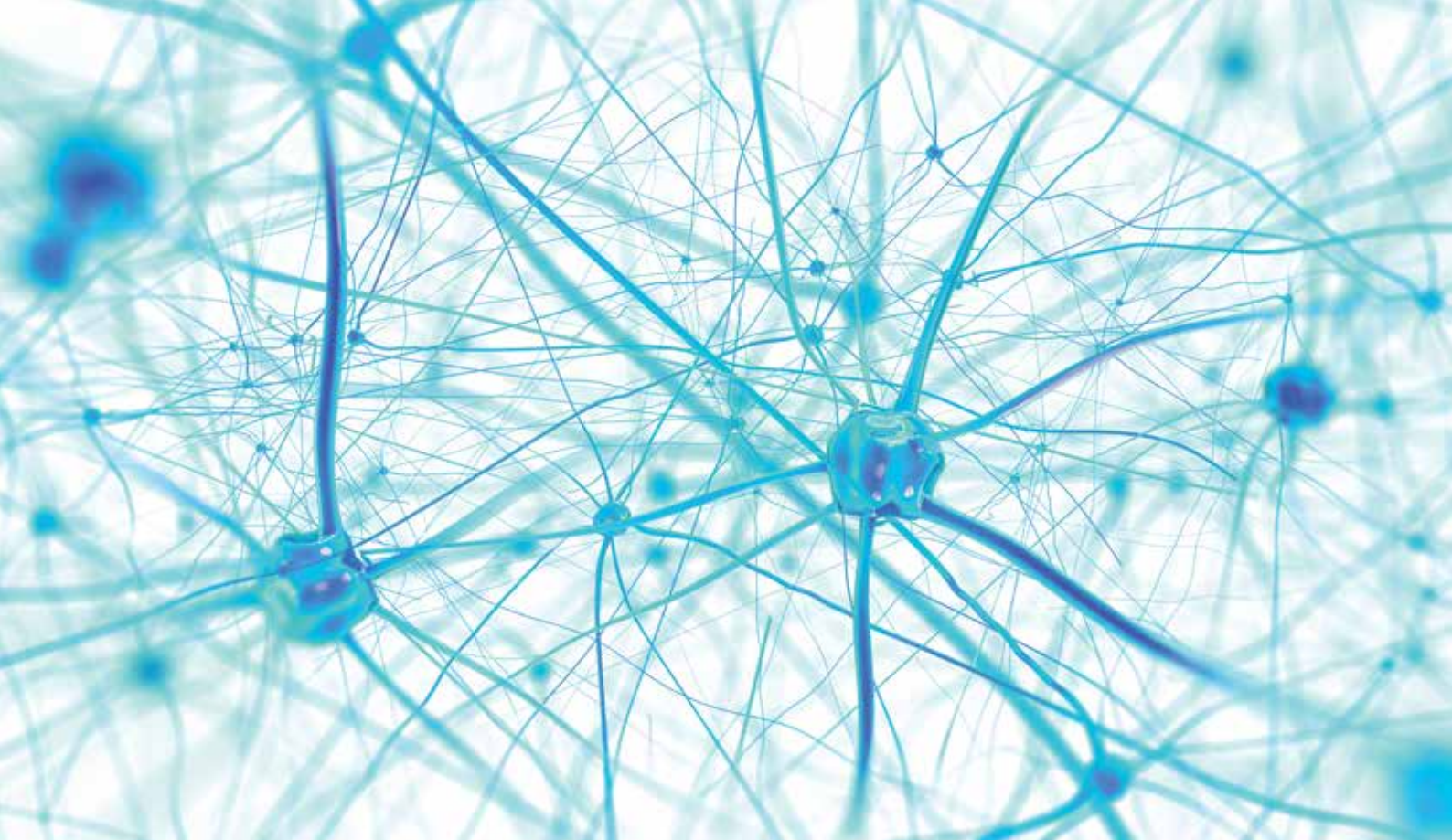
roeper@em.uni-frankfurt.de

Die neurophysiologische Entwicklung und verhaltensphysiologische Ausreifungsphase des menschlichen Gehirns ist enorm lang. Sie dauert zwischen zwei und drei Jahrzehnten und ist damit einzigartig im Vergleich zu anderen Lebewesen. Relevante Sinnesreize, ob visuell, akustisch oder taktil, führen zu weiteren synaptischen Verknüpfungen von Neuronen. Es entstehen gigantische Netzwerke, die u. a. individuelle Handlungspräferenzen und -möglichkeiten repräsentieren können. Sie ermöglichen, dass ein Mensch zu einer individuellen Persönlichkeit heranreift. Zugleich bildet dieses gespeicherte Weltwissen die Grundlage für eine Vielfalt von Routinen, welche die komplexe, aber oft scheinbar mühelose Choreografie unseres Alltags darstellen.

Die Ausreifungsphase bedeutet somit zum einen ein – für das Leben wichtiges – »Hineinleben« in die Welt der Routine. Gleichzeitig erwirbt der Mensch die Fähigkeit, mit Unvorhergesehenem flexibel umzugehen. Menschen, denen dies nicht gelingt, können Ängste oder Zwänge entwickeln. Besonders Zwänge engen das Handlungsrepertoire, deutlich ein.

Sooft es kann, schaltet das Gehirn auf Autopilot ... aber es kann auch anders

Der Mensch wäre schon mit alltäglichen Aufgaben, z. B. einer einfachen Bewegungskoordination, völlig überfordert, wenn alle notwendigen Entscheidungen bewusst getroffen werden müssten. Deshalb versucht das menschliche Gehirn, Abläufe so weit wie möglich zu automatisieren.



Unbewusst verarbeitet es Sinnesinformationen (implizite Wahrnehmung), die Bedeutung von Wörtern (implizites Lernen) und emotionale Beurteilungsprozesse. Gewohnheitsmäßige Handlungen (habits) werden mit individuellen Regeln organisiert: die morgendliche Routine im Bad, das Autofahren oder das Verhalten an der Ampel. Der Mensch muss nicht jedes Mal aufs Neue eine explizite Entscheidung treffen. Das bedeutet eine Erleichterung für schnelle, lebensnotwendige und unbewusste, der Situation angepasste Reaktionen.

Kommt es allerdings zu einem nicht vorausgesagten Ausgang, der besser oder schlechter als erwartet ausfällt, nutzt das Gehirn diesen Voraussagefehler (positive/negative prediction error) als Signal, um gerade aus dieser Überraschung zu lernen. In diesem Zusammenhang ist die komplette Überraschung eines der stärksten Lernsignale. Neben der Voraussage für spezielle Situationen und der Reaktion auf völlige Überraschungen (unexpected uncertainty), kann das Gehirn auch die allgemeine Sicherheit der Situation bewerten (expected uncertainty) und das Lernverhalten daran anpassen. Letzteres mobilisiert oft die Aufmerksamkeit (attention), kann aber bei Überforderung zu einer Stressreaktion führen. »Das Gehirn ist also eine flexible Voraussagemaschine, die sich durch Lernvorgänge stets aktualisiert«, fasst Roeper zusammen.

Außerdem verfügt das Gehirn über eine Reihe von Alarmsystemen, die Abweichungen von der Routine registrieren. In Folge lenken diese Ab-

weichungen die Aufmerksamkeit auf neue Informationen und steigern die Lernbereitschaft.

Unsicherheit und das dopaminerge System

Unsicherheit ist ambivalent: Sie kann ein Glücksmoment darstellen, aber auch ein Bedrohungspotenzial.

Neue, unbekannte Situationen verändern im Gehirn die Ausschüttung von Neuromodulatoren wie Dopamin, Serotonin und Noradrenalin. Dabei ist Dopamin relevant für Motivation, Vorfreude, Neugier und Belohnung und die

Neurales Netzwerk mehrerer Neurone

Neurone sind verantwortlich für die Weitergabe von Informationen im menschlichen Nervensystem (ZNS, Gehirn und Rückenmark). Diese Informationen werden als elektrische Impulse übertragen. Eine Nervenzelle umfasst einen zentralen Nervenzellenkörper mit antennenähnlichen Verzweigungen (Dendriten) und einem Axon.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Fast 30 Jahre braucht das menschliche Gehirn, um mithilfe des Inputs von außen zuverlässige und flexible Vorhersagemodelle für bewusste Handlungsabläufe in einer komplexen Umwelt zu generieren und nach diesen zu handeln.
- Das menschliche Gehirn versucht, Abläufe so weit wie möglich zu automatisieren. Das Bewusstsein schaltet sich nur ein, wenn Unerwartetes passiert.
- Die Auseinandersetzung mit Unsicherheit wird stark durch das Wechselspiel zwischen Dopamin und Serotonin beeinflusst.



Wechselspiel von bottom-up und top-down

Beim Billard-Spiel wird ein Sinnesreiz von den Augen – die Anordnung von Billardkugeln – zum Cortex geleitet (bottom-up) und aktiviert dort verschiedene Areale mit jeweils einem bekannten Muster. Jedes davon ist notwendig, damit das neuronale Netzwerk funktioniert. Die nun ausgelöste bewusste Absicht setzt einzelne Bewegungen in Gang, z. B. einen Stoß mit dem Queue, um eine Billardkugel in Bewegung zu versetzen.

Diese top-down geleitete Handlung kann erfolgreich sein oder nicht, was neue Anreize zum Lernen setzt.

damit einhergehenden Emotionen. Führt eine Handlung zum Erfolg, bewirkt eine vermehrte Ausschüttung von Dopamin nicht nur ein Glücksmoment, sondern verstärkt auch das assoziative Lernen, so dass man in Zukunft diesen Lernerfolg wiederholen kann. Denn Dopamin weckt darüber hinaus auch die Lust, eine Belohnung zu suchen, Neues zu erkunden und damit die sichere Umgebung zu verlassen.

Durch jeden Lernerfolg erweitert und festigt sich das Handlungsspektrum des Menschen. Das hilft ihm nicht nur, sich besser an seine Umwelt anzupassen, sondern auch neue Chancen zu ergreifen und sie aktiv zu gestalten. Auf zellulärer Ebene bewirkt der Lernerfolg durch Dopamin eine Festigung der synaptischen Verbindungen innerhalb eines Netzwerks, das damit erweitert, verstärkt und stabilisiert wird.

Das dopaminerge System bewertet vorrangig die Situation im aktuellen Moment, durch Überstimulation kann es aber auch zu impulsivem Verhalten kommen. Demgegenüber moduliert die Freisetzung des Neurotransmitters Serotonin das langfristige Verhalten. Es vermittelt Geduld und Motivation für weitreichendere Strategien. Dabei muss der Mensch aber auch oft eine kurzfristige Unlust in der Situation der Unsicherheit akzeptieren.

Somit stehen Dopamin und Serotonin in einem Spannungsfeld, das ein zielorientiertes Lernverhalten im Umgang mit Unsicherheit und Risiko ermöglicht. »Der Mensch kann in einem neurophysiologisch gesunden Zustand Unsicherheiten ruhig entgegensehen«, meint Roeper. »Ein ausgeglichenes Wechselspiel zwischen

Dopamin und Serotonin kann sozusagen als Leichtigkeit des Seins empfunden werden.«

Unsicherheit aktiviert die bewusste Steuerung des Verhaltens

Ein verwandter Ansatz, die Hirnfunktionen zu verstehen, besteht darin, sich die zwei Richtungen des Informationsflusses – bottom-up- und top-down-Verarbeitung – zu vergegenwärtigen. Während die bottom-up-Richtung u. a. die Verarbeitung aktueller Sinnesinformationen vermittelt, enthält der top-down-Prozess vor allem sensorische und Belohnungs-Voraussagen. Die abgleichende Verrechnung dieser beiden Informationsflüsse ist eine der fundamentalen Leistungen im Gehirn. Wiederum ist eine Diskrepanz zwischen aktueller Situation, Handlung und Belohnung sowie den jeweiligen Voraussagen der Motor des Lernens.

Ein Balanceakt der Neugier

Neben diesen reaktiven Systemen (unexpected uncertainty), kann sich das Gehirn allerdings auch vorausschauend auf größere Unsicherheit



Die Autorin

Regina Kremer, Jahrgang 1956, studierte das Lehramt für Gymnasien mit den Fächern Biologie und Chemie an der Justus-Liebig-Universität Gießen. Seit 1981 unterrichtet sie diese Fächer, zuletzt als Oberstudienrätin an einer Oberstufenschule im Landkreis Offenbach. Neben ihrer Unterrichtstätigkeit gilt ihr weiteres Engagement, ihren Schülern die Vielseitigkeit und bedeutende Alltagsrelevanz der Naturwissenschaften zu vermitteln. Die Wahrnehmung der Naturwissenschaften als anschauliche, verständliche, moderne und aktuelle Wissenschaften ermöglicht sie durch Kooperation mit regionalen Universitäten und Unternehmen in Frankfurt, Darmstadt und Mainz. Weiterhin arbeitet sie als freie Autorin für aktuelle Themen aus der Biologie und Chemie und bringt ihre Leidenschaft für die Bedeutung der Naturwissenschaften im Kontext des Alltagsleben ein.

regikremer1@t-online.de

einstellen (expected uncertainty), wenn wir aktiv aus der eigenen Routine heraustreten, um z. B. eine neue Stadt kennenzulernen. Das automatische System der Problemlösung wird heruntergefahren oder abgeschaltet. Die Situation kann jetzt z. B. durch modellbasiertes Nachdenken gelöst werden, welches wesentlich mehr Zeit- und Energieressourcen benötigt.

Es ist dabei ein wichtiges Funktionsprinzip, langfristig die Balance (explore-exploit) zwischen unangestrenzter Routine, aktiver Wissensaneignung und Risikobewertung so einzustellen, dass chronische Überforderung und damit Überaktivierung der hormonellen Stressachse vermieden wird. Überraschende Situationen beeinflussen das Gefühl von Sicherheit, Geborgenheit und Optimismus. Auch wird vermehrt Adrenalin und Noradrenalin ausgeschüttet, was neben der Aufmerksamkeit auch die Leistungsbereitschaft des Körpers steigert. Welches Verhalten in einer solchen Situation zum Erfolg führt, hat Einfluss auf die Dynamik der persönlichen Stressachse. Prof. Roeser beschreibt dies als eine emotionale Selbstregulation mithilfe zweier Systeme: eines reaktiven Systems, das für jede Art von Belastung eine optimale Antwort gibt, und eines prädiktiven Systems, das die optimale Einstellung des Verhaltens ermöglicht. Somit ist Unsicherheit an sich weder gut noch schlecht, sondern es kommt auf den flexiblen, kontextabhängigen und effektiven Umgang mit ihr an.

Soziale Medien und Verlockung: Kann Unsicherheit doch zum Risiko werden?

Reize der Konsumgüterindustrie erreichen den Menschen ständig, bewusst oder unbewusst über alle modernen sozialen Medien. Das führt dazu, dass der Mensch die Umwelt immer häufiger aufgrund von künstlich geschaffenen Situationen und Konflikten bewertet. So kann die Auseinandersetzung mit der realen Umwelt abnehmen und damit zu Problemen bei der Orientierung im Alltag führen. Soziale Medien oder das Internet-Surfen in Produktlandschaften können dazu verleiten, die Aufmerksamkeit auf problematische Aspekte zu verschieben wie: »Was machen andere zurzeit? Wer hat was, wann, wo bestellt?« Hier ist das Neugier vermittelte Lernen oft nicht in der Lage, die Unsicherheit zu reduzieren, sondern kann – trotz immer tieferem Abtauchen – zum Gegenteil führen, zu Verunsicherung und Ängsten.

Die Vielzahl der Reize erschwert den bottom-up-Prozess. Zudem erzeugt der Abgleich, die Bewertung und Verrechnung vieler Daten mehr Fehler. Der prediction error nimmt zu, die Lernfähigkeit sinkt, die Stressachse wird aktiviert, ja manchmal überaktiviert. Dem Menschen gelingt es oft nicht mehr, ein angemessenes Gleichgewicht zwischen Neugier und der



Fokussierung auf das Wesentliche zu erreichen. Außerdem werden Ressourcen, die der Mensch für die Auseinandersetzung mit der realen Welt verwenden könnte, im virtuellen Raum von kommerziellen Interessen gebunden. Ob diese Ressourcen, die der Menschheit für die Auseinandersetzung mit der realen Welt verwenden könnte, physiologisch bedingt limitiert sind, ist bislang noch nicht wissenschaftlich erforscht. Anzeichen dafür sind für Prof. Roeser eine zunehmend überforderte Gesellschaft. Kennzeichen sind z. B. Aufmerksamkeitsstörungen, ADHS bei Kindern und zunehmend bei Erwachsenen.

Als Gefahr sieht Jochen Roeser, dass Menschen sich aus dem Alltag zurückziehen. Das Unbekannte wird somit ausgeblendet: »Der Mensch empfindet die Vielfalt des Alltags nicht mehr als interessant und spannend. Es entsteht vielmehr eine erlernte Hilflosigkeit im Umgang mit Unsicherheit. Statt neugierig die Welt stets aufs Neue zu erkunden, kommt es zum Rückzug. So wird Neues irgendwann nicht mehr als Motivation, sondern wieder als Bedrohung empfunden.« Sich im Alltag auf Unvorhergesehenes einzulassen, ist viel lohnender, weil es zum Lernen motiviert. ●

Gefahr durch soziale Medien
Soziale Medien verleiten zum Rückzug aus der Realität und bergen die Gefahr, dass Menschen ihre Neugier nicht mehr zum Lernen verwenden.