



Neurobiologie der Gewalt

Thomas Kuner

Auszug aus dem Jahresbericht
„Marsilius-Kolleg 2012/2013“

Obgleich man als Bürger Heidelbergs in einer sehr friedfertigen Umgebung lebt, insbesondere unter Marsilius-Kollegiaten, und man vielleicht geneigt sein könnte, zu fragen, ob der Mensch auch ohne gewaltsames Handeln auskommt, so führt ein Blick in die Fernsehprogramme zurück zur Realität zwischenmenschlicher Gewalt als fest etabliertes Verhaltensrepertoire von Homo sapiens. Wie häufig ist die ultimative Ausprägung von Gewalt, nämlich Gewalt gegen Menschen mit Todesfolge? Die Zahlen der World Health Organization¹ beschreiben 1,5 Millionen Tote durch Gewalt weltweit. Im Vergleich dazu sterben 1,2 Millionen im Straßenverkehr, 1,8 Millionen an AIDS und etwa 15 Millionen an den Folgen von Herz-Kreislaufkrankungen. Die Zahl der versuchten Morde mit oder ohne Verletzungsfolgen wird etwa zehnfach höher eingeschätzt. Von den Gewalttoten entfallen etwa die Hälfte auf Suizid, 35 % auf Mord und 12 % auf bewaffnete Konflikte. Bei über 90 % der Suizidtoten und 50 % der Morde, also insgesamt etwa 80 % aller Gewalttoten, geht man von einer ursächlichen Beteiligung psychischer Erkrankungen aus. Ist Gewalt somit vorwiegend Krankheit?

Neurobiologie der Gewalt

Thomas Kuner

Aus einer Vielzahl von Erkrankungen sollen hier nur die Depression, für die gegen sich selbst gerichtete Gewalt, und Persönlichkeitsstörungen, für die gegen andere gerichtete Gewalt, genannt werden. Beide können als Wegweiser für die neurobiologischen Korrelate von Gewalt dienen. An dieser Stelle ist eine präzisere Definition des vielschichtigen Begriffs „Gewalt“ notwendig. Gewalt beinhaltet, was auch in den interdisziplinären Diskussionen im Marsilius-Kolleg intensiv diskutiert wurde, eine Vielzahl von Aspekten von denen aus der neurobiologischen Sicht nur der Teilaspekt der Aggression untersucht werden kann. Dies liegt vorwiegend darin begründet, dass Aggression in Form von aggressivem Verhalten beobachtet und quantifiziert werden kann und somit auf genetische, molekulare, zelluläre und systemische Bedingungen bezogen werden kann. Für die weitere Betrachtung kann Aggressionsverhalten in zwei, auch neurobiologisch unterschiedliche, Varianten unterteilt werden: impulsive Aggression und instrumentelle Aggression.² Die impulsive Aggression entsteht aus Wut, Angst oder emotionaler Provokation. Im Verhältnis zum auslösenden Stimulus ist die Reaktion unverhältnismäßig und wird von starken vegetativen Reaktionen begleitet. Diese Reaktion entspricht einer stammesgeschichtlich alten Verhaltensweise und ist durch eine starke genetische Komponente geprägt. Die instrumentelle Aggression hingegen entsteht ohne Frus-

tration oder existenzielle Bedrohung und wird zielgerichtet eingesetzt. Vegetativ-emotionale Reaktionen fehlen weitestgehend. Diese beiden Formen der Aggression finden sich in zwei Formen von Persönlichkeitsstörungen wieder: Borderline personality disorder (BPD) und psychopathy (PSY). Bei der BPD kommt es durch zu hochgespannte Affekterregungen, geringe Impulskontrolle und dem Gefühl der sozialen Bedrohung zu reaktivem aggressiven Verhalten, wohingegen bei der PSY aufgrund der fehlenden emotionalen Hemmung und fehlender Reflexion sozialer Normen instrumentelle Aggression entstehen kann.³

Welche neuronalen Netzwerke sind bei Aggressionsverhalten aktiv?

Durch Untersuchungen mit der funktionellen Kernspintomographie, auch Magnetresonanztomographie genannt, können Hirnareale identifiziert werden, die bei der Entstehung von Aggression eine Rolle spielen könnten. Beispielsweise können Bilder mit einem unterschiedlichen Gehalt an aggressiven Darstellungen gezeigt werden. Dabei wurden mehrere stark aktivierte Hirnareale wie beispielsweise der präfrontale und orbitofrontale Kortex sowie die Amygdala gefunden.⁴ Diese Systeme vermitteln die emotionale Bewertung von Sinneseindrücken und können Emotionen auslösen. Diese Befunde passen auch zu Beobachtungen an Menschen mit traumatischen Hirnschädigungen, wie beispielsweise dem klassischen Fall von Phineas Gage, der sich nach einer ausgedehnten Schädigung des Frontallappens in eine emotionslose und aggressive Persönlichkeit verwandelte.⁵ Bei der Entstehung von Aggression spielen Serotonin und Dopamin, Neu-

rotransmitter, welche die Übertragung von Information zwischen Nervenzellen ermöglichen, eine zentrale Rolle.⁶ Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass bestimmte Hirnareale und Neurotransmittersysteme zur Ausprägung von Aggressionsverhalten beitragen.

Welche genetischen Faktoren führen zu Aggressionsverhalten?

Die Kenntnis der Hirnareale und Neurotransmitterareale ermöglicht es heute, insbesondere unter dem Einsatz der imaging genetics,⁷ genetische Risikokomponenten zu identifizieren, die mit dem Auftreten eines aggressiven Verhaltensphänotyps einhergehen. Hier sollen zwei eindrucksvolle Beispiele geschildert werden, bei welchen eine hohe Korrelation der Aktivität in der Amygdala mit Aggressionsverhalten besteht. Hypersoziiales, altruistisches Verhalten wird beim Williams-Beuren-Syndrom beobachtet, bei welchem eine Deletion von 28 Genen auf Chromosom 7 vorliegt.⁸ Insbesondere bei sozialen Gefahren kommt es nicht zur Aktivierung der Amygdala, und somit zu keinen die Aggression fördernden Reizkonstellationen. Starkes Aggressionsverhalten, insbesondere auch gegen Familienmitglieder, entsteht bei X-chromosomal vererbten Varianten der Monoaminoxidase (MAO). Dieses Enzym ist für den Abbau von Neurotransmittern wie das bereits erwähnte Serotonin und Dopamin zuständig. Die Amygdala ist bei hochaktiven MAO-Varianten hyperreaktiv und generiert dadurch Aggressionsverhalten.⁹ Die unterschiedlichen MAO-Varianten beeinflussen auch die Stärke von Gen-Umweltinteraktionen in der Entwicklung des Menschen. Bestimmte molekulare Entitäten können also mit Aggressionsverhalten in Verbindung gebracht werden. Neben der Kenntnis der involvierten Moleküle sowie der Hirnareale und den Verhaltensweisen wäre es wünschenswert auch die zellulären Mechanismen und Prinzipien der Verarbeitung auf der Ebene von Nervenzellnetzwerken zu verstehen. Hierzu bestehen beim Menschen allerdings kaum experimentelle Zugänge, weshalb diese Untersuchungen an geeigneten Tiermodellen vorgenommen werden müssen.

Mausmodelle für Aggressionsverhalten

Menschliches Verhalten im Tiermodell abbilden zu wollen, um damit zelluläre Mechanismen zu untersuchen, erscheint zunächst einmal gewagt, zumal wenn die Maus als Tiermodell herangezogen wird. Aus der evolutionsbiologischen Sicht



ist dies weniger überraschend, da Maus und Mensch von einem doch relativ nahen gemeinsamen Vorfahren vor 75 Millionen Jahren abstammen. Dies drückt sich auch in einer sehr hohen Sequenzähnlichkeit der beiden Genome von über 90 % aus. Von wenigen Ausnahmen abgesehen finden sich für alle Gehirnbereiche des Menschen Entsprechungen in der Maus. Somit kann die Verwendung der Maus als Modellsystem gut gerechtfertigt werden. Ein entscheidender Vorteil der Maus als Modellsystem besteht darin, dass eine große Vielfalt von genetischen Eingriffsmöglichkeiten mit einer noch größeren Vielfalt von Methoden zur Untersuchung von Struktur und Funktion kombiniert werden kann. Damit lässt sich in der Maus ein Verständnis der molekularen, synaptischen, zellulären und systemischen Mechanismen der Informationsverarbeitung und deren Störungen bei krankhaften Veränderungen erreichen, welches zumindest derzeit in keinem anderen Modellsystem erreicht werden kann. Befunde in Mausmodellen können über bildgebende Verfahren wie die Magnetresonanztomographie und über homologe Verhaltenstests auf den Menschen übertragen werden. Wenn Bildgebung und Verhalten ähnliche Muster zeigen, so können die im Mausmodell gefundenen Erkenntnisse auf zellulärer Ebene auf den Menschen übertragen werden. So führte beispielsweise eine Deletion der MAO zu stark vermehrtem Aggressionsverhalten in Mäusen, ähnlich zu den Veränderungen, die bereits oben für den Menschen beschrieben wurden.¹⁰ Darüber hinaus wurden im Hypothalamus, einer Hirnregion, die als übergeordnetes hormonelles Steuersystem angesehen wird, Nervenzellpopulationen gefunden, die selektiv Aggressionsverhalten stimulieren oder aber hemmen können.¹¹ Mit diesen Mausmodellen kann nun aus einem mechanistischen Verständnis heraus versucht werden, neue Strategien der Beeinflussung von Aggressionsverhalten des Menschen zu entwickeln.

Modell der Entstehung von Aggression

Das in Abbildung 1 dargestellte Schema zeigt ein mögliches Modell der Entstehung von Aggressionsverhalten, welches aus Studien an Maus und Mensch abgeleitet werden kann. Zunächst kommt es zu einer neuronalen Repräsentation der Sinnesreize in den sensorischen Anteilen des Neokortex (braun). Diese Repräsentationen müssen dann hinsichtlich der emotionalen Relevanz für das Subjekt beurteilt werden, was bevorzugt im limbischen System geschieht, zu welchem auch die bereits erwähnte Amygdala gehört (blau). Dieses System kommuniziert mit dem Präfrontalkortex, in welchem wiederum die Beurteilung in laufende

Handlungsabläufe einfließen muss (grün). Beide Systeme werden von Teilen des Hirnstamms und des Hypothalamus in ihrer Aktivität moduliert (gelb) und generieren schließlich Verhalten. Das Schema zeigt, dass sowohl Veränderungen in der Bewertung emotional relevanter Umweltinformation als auch der Impulskontrolle zu Aggressionsverhalten führen können. Die beiden bereits angeführten Persönlichkeitsstörungen entsprechen nach diesem Modell einer gestörten Beurteilung von Sinneseindrücken (PSY, instrumentelle Aggression) oder einer gestörten Impulskontrolle (BPD, reaktive Aggression).

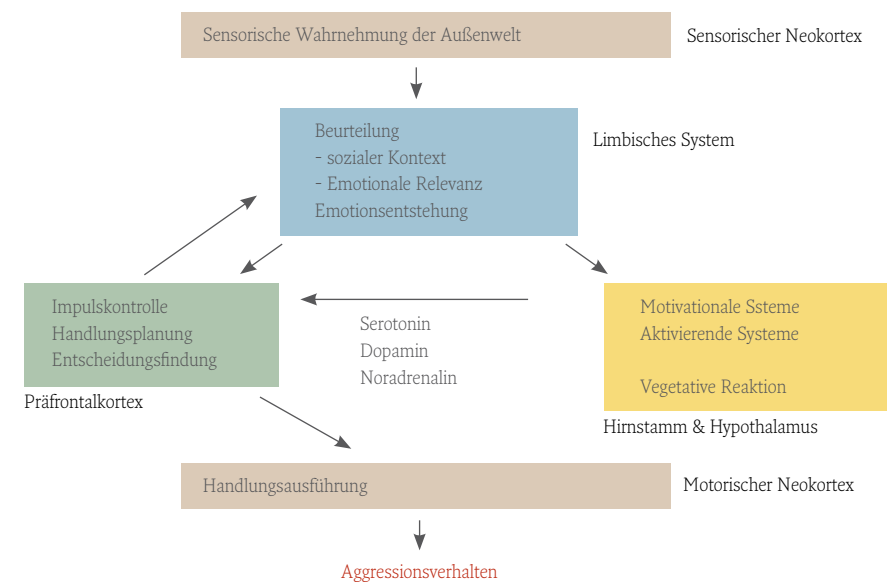


Abb. 1: Mögliches Modell der Entstehung von Aggressionsverhalten (eigene Darstellung).

Interaktion von Genen und Umwelt

Die offensichtlich starke genetische Komponente bei manchen Formen von Aggressionsverhalten bedeutet nicht, dass sich zwangsweise aggressives Verhalten ausbilden muss. Gerade beim Menschen sind Einflüsse während der Per-

sönlichkeitsentwicklung sowie gesellschaftliche Rahmenbedingungen von großer Bedeutung. Dies drückt sich beispielsweise in der geographisch sehr ungleichen Verteilung von Gewalt gegen Menschen mit Todesfolge aus. In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass eine interdisziplinäre Herangehensweise notwendig ist, um die Interaktion von gesellschaftlichen und biologischen Mechanismen des Aggressionsverhaltens verstehen zu können.

Gruppe Gewalt und Altruismus im Marsilius-Kolleg

Das vielschichtige Problem der Gewalt wurde im Marsilius-Kolleg aus der evolutionsbiologischen, neurobiologischen, psychologischen und historischen Perspektive beleuchtet. Die beiden biologischen Disziplinen konnten dabei im Wesentlichen mechanistische Erklärungen für die Entstehung von Aggressionsverhalten bieten. Von Seiten der Psychologie wurden Modelle für die innerpsychischen Prozesse von Gewalthandeln diskutiert. Eine besonders große Herausforderung besteht meines Erachtens darin, die Ebene der psychologischen Beschreibung innerpsychischer Prozesse mit den Ebenen der neurobiologischen Beschreibung in Verbindung zu bringen. Aus der historischen Perspektive wurde die Entwicklung von Gewalt in menschlichen Gemeinschaften über längere Zeiträume beleuchtet. Die Kenntnis dieser Entwicklungen ist insbesondere zur Beurteilung des Zusammenwirkens von Genen und Umwelt von großer Bedeutung. Diese Diskussionen konnten in der Marsilius-Akademie „Gewalt und Altruismus“ mit einem größeren Publikum engagiert, produktiv und bisweilen kontrovers weiter diskutiert werden. Eine für mich wichtige Erfahrung aus dieser Sommerschule war es, dass wir bis zu einer echten Interdisziplinarität noch einen weiten Weg zurücklegen müssen, ein Weg, der sich ohne Frage lohnen wird.

Von der Neurobiologie der Information zur Neurobiologie der Gewalt – eine zweiseimstrige Reise im Marsilius-Kolleg

Jeder von uns verwendet den Begriff der Information ganz selbstverständlich, und jeder meint auch intuitiv zu wissen, was Information bedeutet. Sobald man mit der Aufgabe konfrontiert wird Information präzise zu definieren, beginnen die Probleme. Meinen Einstieg als Marsilius-Kollegiat fand ich mit der Initiative zum Begriff der Information von Matthias Weidemüller aus der Physik, zusammen mit Jörg Oechssler von der Ökonomik und Anton Koch aus der Philosophie.

Wir hatten uns zum Ziel gesetzt, den Begriff der Information aus den Blickwinkeln unserer Disziplinen zu untersuchen und darüber einen universellen Begriff der Information aufzuspüren. Der Leitgedanke war, dass letztlich jeder der fachspezifischen Informationsbegriffe auf ein grundlegendes physikalisches Prinzip zurückzuführen sein müsste. Im Verlauf der Diskussionen wurde für mich deutlich, dass dies zwar prinzipiell möglich sein müsste, der Weg dahin jedoch langwierig und schwierig sein würde. Der für mich interessanteste Aspekt war die Beziehung von Information und Bedeutung. Gibt es Information ohne das Subjekt, welches physikalisch definierbaren Zuständen eine Bedeutung gibt? Entsteht nicht erst dann Information? Aus der evolutionsbiologisch-neurobiologischen Sicht ist dies gut nachzuvollziehen. Bedeutungszusammenhänge entstehen im Verlauf der Evolution und finden ihren Niederschlag im Genom sowie in der Struktur und Funktion des Nervensystems. Das Gehirn nimmt physikalische Signale aus der Umgebung wahr und interpretiert diese auf der Basis der während der Evolution, aber auch durch Lernen und Gedächtnis während der Individualentwicklung, erworbenen Bedeutungszusammenhänge. Damit war für mich zunächst ein zufriedenstellender Punkt erreicht. Gleichzeitig wurde bei den Diskussionen der Beiträge der „Gewaltgruppe“, bestehend aus Annette Kämmerer, Thomas Maissen und Michael Wink, deutlich, dass die Neurobiologie in der Diskussion von Gewalt und Aggression viele wichtige Beiträge liefern könnte. Mit zunehmender Neugierde entstand dann auf halbem Wege durch das Kolleg der Entschluss, „Gewalttätig“ zu werden. Man hat es mir nicht nachgetragen, oder vielleicht doch ein klein wenig.

¹ Etienne G. Krug et al.: *World report on violence and health*, Genf: World Health Organization 2002.

² Larry J. Siever: *Neurobiology of Aggression and Violence*, in: *American Journal of Psychiatry* 165 (2008), S. 429-442.

³ James Blair, Derek Mitchell und Karina Blair: *The Psychopath: Emotion and the brain*. Malden: Blackwell Publishing Ltd 2005.

⁴ Richard J. Davidson, Katherine M. Putnam und Christine L. Larson: *Dysfunction in the Neural Circuitry of Emotion Regulation – A Possible Prelude to Violence*, in: *Science* 289 (2000), S. 591.

⁵ Hannah Damasio et al.: *The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient*, in: *Science* 264 (1994), S. 1102.

- ⁶ Larry J. Siever: *Neurobiology of Aggression and Violence*, Anm. 2.
- ⁷ Heike Tost, Edda Bilek und Andreas Meyer-Lindenberg: *Brain connectivity in psychiatric imaging genetics*, in: *NeuroImage* 62 (2012), S. 2250.
- ⁸ Andreas Meyer-Lindenberg, Carolyn B. Mervis und Karen Faith Berman: *Neural mechanisms in Williams syndrome: a unique window to genetic influences on cognition and behaviour*, in: *Nature Reviews Neuroscience* 7 (2006), S. 380.
- ⁹ Joshua W. Buckholtz und Andreas Meyer-Lindenberg: *MAOA and the neurogenetic architecture of human aggression*, in: *Trends in Neurosciences* 31 (2008), S. 120.
- ¹⁰ Jean Chen Shih, K. Chen und M.J. Ridd: *Monoamine Oxidase: From Genes to Behavior*, in: *Annual Review of Neuroscience* 22 (1999), S. 197.
- ¹¹ Dayu Lin et al.: *Functional identification of an aggression locus in the mouse hypothalamus*, in: *Nature* 470 (2011), S. 221.