

# Geleitwort

Wie sehr der Mensch bestimmt ist durch seine Erbanlagen oder durch zu Lebzeiten gemachte Erfahrungen, ist seit jeher eine Frage, die wie kaum eine andere Stoff für wissenschaftliche und gesellschaftspolitische Auseinandersetzungen bietet, welche nicht selten in weltanschaulich und ideologisch geprägten Behauptungen münden. Unbestritten ist, dass Persönlichkeitsmerkmale und Verhaltensdispositionen ebenso wie eine Fülle somatischer wie psychischer Erkrankungen vererbbar sind und folglich nachhaltig vom Würfelspiel der Kombinationen elterlicher Gene mitbestimmt werden. Unstrittig ist aber auch der mächtige Einfluss von Umweltfaktoren, denen der heranwachsende Mensch ausgesetzt ist. Die genetischen Anlagen heutiger Menschen unterscheiden sich nur wenig von denen der nomadisierenden Vorfahren, die dank der hochentwickelten kognitiven Fähigkeiten ihrer Gehirne damit beginnen konnten, der biologischen Evolution die kulturelle hinzuzufügen. Ohne die Weitergabe des über viele Generationen angesammelten Kulturwissens durch Erziehung und durch die Einbettung in ein reiches hoch differenziertes soziokulturelles Feld glichen sich die kognitiven Leistungen und Verhaltensdispositionen der heutigen und damaligen Menschen. Trotz dieser nachgerade trivialen Einsicht, dass sich unser Wesen genetischen und epigenetischen Einflüssen verdankt, ist es im Einzelfall schwierig, wenn nicht gar ausgeschlossen, festzulegen, welche Merkmale einer Persönlichkeit sich diesen oder jenen Faktoren verdanken.

Zwei Gründe machen diese Unterscheidung so schwierig. Zum einen verbieten sich beim Menschen Deprivationsexperimente, mit denen der Einfluss von Umweltfaktoren bestimmt werden könnte. Zum anderen bedingen genetische und epigenetische Einflüsse zumeist ununterscheidbare Festlegungen der funktionellen Architektur des individuellen Gehirns. Die strukturelle Entwicklung des menschlichen Gehirns kommt erst jenseits des 20. Lebensjahres zum Stillstand. Dieser Reifungsprozess wird von einem fortwährenden Umbau der strukturellen und funktionellen Architektur des Gehirns bestimmt. Es bilden sich neue Verbindungen zwischen Nervenzellen aus, bereits bestehende Verbindungen werden konsolidiert und verstärkt oder aber wieder abgebaut. Diese Modifikationen betreffen auch die molekularen Bestandteile der Nervenzellen, die deren integrative Funktion bestimmen. Gesteuert werden diese Entwicklungsprozesse durch eng verschränkte Interaktionen zwischen genetischen Vorgaben und den heranreifenden Funktionen des Gehirns. Das reifende Gehirn kann seine eigenen informationsverarbeitenden Fähigkeiten einsetzen, um seine Reifungsprozesse zu steuern. Die gleichen Signalkaskaden, die der Verarbeitung sensorischer Information und der Steuerung von Verhalten zu-

# Geleitwort

Wie sehr der Mensch bestimmt ist durch seine Erbanlagen oder durch zu Lebzeiten gemachte Erfahrungen, ist seit jeher eine Frage, die wie kaum eine andere Stoff für wissenschaftliche und gesellschaftspolitische Auseinandersetzungen bietet, welche nicht selten in weltanschaulich und ideologisch geprägten Behauptungen münden. Unbestritten ist, dass Persönlichkeitsmerkmale und Verhaltensdispositionen ebenso wie eine Fülle somatischer wie psychischer Erkrankungen vererbbar sind und folglich nachhaltig vom Würfelspiel der Kombinationen elterlicher Gene mitbestimmt werden. Unstrittig ist aber auch der mächtige Einfluss von Umweltfaktoren, denen der heranwachsende Mensch ausgesetzt ist. Die genetischen Anlagen heutiger Menschen unterscheiden sich nur wenig von denen der nomadisierenden Vorfahren, die dank der hochentwickelten kognitiven Fähigkeiten ihrer Gehirne damit beginnen konnten, der biologischen Evolution die kulturelle hinzuzufügen. Ohne die Weitergabe des über viele Generationen angesammelten Kulturwissens durch Erziehung und durch die Einbettung in ein reiches hoch differenziertes soziokulturelles Feld glichen sich die kognitiven Leistungen und Verhaltensdispositionen der heutigen und damaligen Menschen. Trotz dieser nachgerade trivialen Einsicht, dass sich unser Wesen genetischen und epigenetischen Einflüssen verdankt, ist es im Einzelfall schwierig, wenn nicht gar ausgeschlossen, festzulegen, welche Merkmale einer Persönlichkeit sich diesen oder jenen Faktoren verdanken.

Zwei Gründe machen diese Unterscheidung so schwierig. Zum einen verbieten sich beim Menschen Deprivationsexperimente, mit denen der Einfluss von Umweltfaktoren bestimmt werden könnte. Zum anderen bedingen genetische und epigenetische Einflüsse zumeist ununterscheidbare Festlegungen der funktionellen Architektur des individuellen Gehirns. Die strukturelle Entwicklung des menschlichen Gehirns kommt erst jenseits des 20. Lebensjahres zum Stillstand. Dieser Reifungsprozess wird von einem fortwährenden Umbau der strukturellen und funktionellen Architektur des Gehirns bestimmt. Es bilden sich neue Verbindungen zwischen Nervenzellen aus, bereits bestehende Verbindungen werden konsolidiert und verstärkt oder aber wieder abgebaut. Diese Modifikationen betreffen auch die molekularen Bestandteile der Nervenzellen, die deren integrative Funktion bestimmen. Gesteuert werden diese Entwicklungsprozesse durch eng verschränkte Interaktionen zwischen genetischen Vorgaben und den heranreifenden Funktionen des Gehirns. Das reifende Gehirn kann seine eigenen informationsverarbeitenden Fähigkeiten einsetzen, um seine Reifungsprozesse zu steuern. Die gleichen Signalkaskaden, die der Verarbeitung sensorischer Information und der Steuerung von Verhalten zu-

grunde liegen – die elektrischen und molekularen Träger von Informationen – werden genutzt, um die strukturelle und funktionelle Organisation der Nervennetze an die vorgefundenen Bedingungen der Welt anzupassen. Diese Umsetzung von neuronaler Aktivität in strukturelle Modifikationen beruht auf dem gezielten, aktivitätsabhängigen An- und Abschalten von Genen, welche die Erregbarkeit der Nervenzellen und die Konsolidierung neuronaler Verbindungen steuern. Diese Prozesse induzieren Veränderungen in der Verschaltungsarchitektur, die von denen nicht zu unterscheiden sind, die sich direkten genetischen Instruktionen verdanken. Im Nachhinein lässt sich nicht mehr feststellen, ob eine bestimmte Verbindung fehlt, weil sie genetisch nicht vorgesehen war oder aber aufgrund epigenetischer Einflüsse im Laufe des Entwicklungsprozesses wieder eingeschmolzen wurde. In der Umkehrung gilt das Gleiche für Verbindungen, die erhalten geblieben sind.

Bis vor wenigen Jahren konzentrierte sich die Suche nach genetischen und epigenetischen Mechanismen der Hirnentwicklung auf die ersten Lebensjahre. Die Gründe hierfür sind konzeptioneller und methodischer Natur. Zu Recht wird davon ausgegangen, dass sich in den frühen Phasen der strukturellen Entwicklung die weitest reichenden Veränderungen vollziehen und die Weichen für alles Zukünftige gestellt werden. Zudem erwies sich, dass sich die Hirnentwicklung schrittweise vollzieht, wobei peripherie Strukturen am frühesten ausreifen. So endet die strukturelle und funktionelle Entwicklung sensorischer Hirnrindenareale weitaus früher als die Ausreifung der evolutionsgeschichtlich jüngeren Areale, die mit sehr komplexen, oft für den Menschen spezifischen kognitiven Funktionen befasst sind. Weil methodisch zugänglicher, konzentrieren sich deshalb die meisten entwicklungsbiologischen Untersuchungen auf peripherie, sensorische und exekutive Strukturen und somit auf frühe Entwicklungsprozesse. Diese Studien führten zu der Erkenntnis, dass es in der Hirnentwicklung kritische Phasen gibt, innerhalb derer bestimmte Reifungsprozesse vollzogen werden müssen. Sofern diese Reifungsvorgänge von der Verfügbarkeit sensorischer Signale abhängen, führen Störungen in den Interaktionen mit der Umwelt zu Fehlentwicklungen, die nicht mehr korrigierbar sind, wenn sich die entsprechenden Entwicklungsfenster geschlossen haben. Diese Erkenntnisse verweisen auf die überragende Bedeutung frühkindlicher Prägung, werden inzwischen auch von einer breiten Öffentlichkeit rezipiert und wurden zu gewichtigen Argumenten für eine Reform der Frühpädagogik.

Ogleich Eltern und Pädagogen seit jeher geläufig ist, dass sich in der Pubertät und frühen Adoleszenz noch einmal tiefgreifende Wandlungen im Verhalten der Heranwachsenden vollziehen, gab es bis vor kurzem nur wenige systematische Untersuchungen dieser späten Phase der Hirnentwicklung. Zum einen galt die Aufmerksamkeit der Forscher aus erwähnten Gründen vornehmlich den frühen Entwicklungsprozessen. Zum anderen vollzieht sich bei den meisten Tieren der Übergang zur Geschlechtsreife und zum Erwachsensein innerhalb sehr kurzer Zeitfenster, was die Erforschung adoleszenzspezifischer Entwicklungsprozesse erschwert. Beim Nesthocker Mensch erstreckt sich diese Übergangsphase zwar über viele Jahre, es fehlten bislang jedoch die Messinstrumente, um die Hirnprozesse zu erfassen, die diese späte Reifungsphase

bestimmen. Post mortem-Untersuchungen legten nahe, dass es auch in der Adoleszenz noch zu diskreten Veränderungen der Hirnanatomie kommt. Man beobachtete eine Zunahme der weißen Substanz, was auf eine späte Reifung der Markscheiden von Nervenbahnen zurückgeführt wurde und eine geringgradige Umverteilung des Volumens der Großhirnrinde in umschriebenen Bereichen. Dass diese strukturellen Veränderungen jedoch mit einer tiefgreifenden Modifikation der funktionellen Architektur einhergehen, erschloss sich erst durch den Einsatz moderner bildgebender Verfahren wie der funktionellen Kernspintomographie, der Magnetoenzephalographie, der hochauflösenden Elektroenzephalographie und der erst seit kurzem zur Verfügung stehenden Traktographie, die auf einer Verfeinerung der strukturellen Magnetresonanztomographie beruht. Ergänzt werden diese aufregenden Befunde über eine späte Reorganisation neuronaler Netzwerke durch erste Hinweise, dass auch noch in der Adoleszenz bestimmte molekulare Bausteine ausgewechselt werden, wodurch die funktionellen Eigenschaften bestimmter Nervenzellen eine nachhaltige Veränderung erfahren. Somit bestätigen neurobiologische Erkenntnisse Freuds Vermutung, dass es sich bei der Adoleszenz um eine Reifungsphase handelt, in der sich noch einmal ein Fenster öffnet, um Entwicklungsprozesse zu beeinflussen, weil es hier noch einmal zu tiefgreifenden Reorganisationsprozessen kommt.

Die Beiträge dieses Bandes handeln von dieser Entwicklungsphase und betrachten sie aus den Blickwinkeln unterschiedlichster Wissenswelten. Psychoanalytische, geistesgeschichtliche und kognitionspsychologische Sichtweisen finden ebenso Berücksichtigung wie kognitionswissenschaftliche, neurobiologische und klinische Perspektiven. Zu erwarten steht, dass die Untersuchungen dieser späten Phase der Hirnentwicklung des Menschen unser Verständnis über das Zusammenspiel von Anlage und Umwelt ebenso nachhaltig prägen werden wie die Studien zur frühen Hirnentwicklung. Vermutet werden darf ferner, dass die Analyse der späten Hirnentwicklung, weit mehr als dies für die Erforschung der frühen Phasen zutrifft, Auskunft über die Grundlagen des spezifisch Menschlichen geben wird und über Erkrankungen des Gehirns, die nur dem Menschen eigen sind. Die meisten der frühen Entwicklungs- und Prägungsprozesse ähneln sich bei Tier und Mensch und dienen der Herausbildung sensorischer und exekutiver Fähigkeiten. Nur das menschliche Gehirn entwickelt sich noch Jahre nach Erreichen der Geschlechtsreife weiter und es darf angenommen werden, dass diese protrahierte Entwicklung der Ausbildung spezifisch menschlicher Fähigkeiten dient, die sich ihrerseits nur durch die Einbettung in ein reiches, soziokulturelles Umfeld erwerben lassen.

Professor Dr. Wolf Singer

Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Frankfurt/M.,  
Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS), Frankfurt/M.,  
Ernst Strüngmann Institut für Hirnforschung (ESI), Frankfurt/M.

grunde liegen – die elektrischen und molekularen Träger von Informationen – werden genutzt, um die strukturelle und funktionelle Organisation der Nervennetze an die vorgefundenen Bedingungen der Welt anzupassen. Diese Umsetzung von neuronaler Aktivität in strukturelle Modifikationen beruht auf dem gezielten, aktivitätsabhängigen An- und Abschalten von Genen, welche die Erregbarkeit der Nervenzellen und die Konsolidierung neuronaler Verbindungen steuern. Diese Prozesse induzieren Veränderungen in der Verschaltungsarchitektur, die von denen nicht zu unterscheiden sind, die sich direkten genetischen Instruktionen verdanken. Im Nachhinein lässt sich nicht mehr feststellen, ob eine bestimmte Verbindung fehlt, weil sie genetisch nicht vorgesehen war oder aber aufgrund epigenetischer Einflüsse im Laufe des Entwicklungsprozesses wieder eingeschmolzen wurde. In der Umkehrung gilt das Gleiche für Verbindungen, die erhalten geblieben sind.

Bis vor wenigen Jahren konzentrierte sich die Suche nach genetischen und epigenetischen Mechanismen der Hirnentwicklung auf die ersten Lebensjahre. Die Gründe hierfür sind konzeptioneller und methodischer Natur. Zu Recht wird davon ausgegangen, dass sich in den frühen Phasen der strukturellen Entwicklung die weitest reichenden Veränderungen vollziehen und die Weichen für alles Zukünftige gestellt werden. Zudem erwies sich, dass sich die Hirnentwicklung schrittweise vollzieht, wobei peripherie Strukturen am frühesten ausreifen. So endet die strukturelle und funktionelle Entwicklung sensorischer Hirnrindenareale weitaus früher als die Ausreifung der evolutionsgeschichtlich jüngeren Areale, die mit sehr komplexen, oft für den Menschen spezifischen kognitiven Funktionen befasst sind. Weil methodisch zugänglicher, konzentrieren sich deshalb die meisten entwicklungsbiologischen Untersuchungen auf peripherie, sensorische und exekutive Strukturen und somit auf frühe Entwicklungsprozesse. Diese Studien führten zu der Erkenntnis, dass es in der Hirnentwicklung kritische Phasen gibt, innerhalb derer bestimmte Reifungsprozesse vollzogen werden müssen. Sofern diese Reifungsvorgänge von der Verfügbarkeit sensorischer Signale abhängen, führen Störungen in den Interaktionen mit der Umwelt zu Fehlentwicklungen, die nicht mehr korrigierbar sind, wenn sich die entsprechenden Entwicklungsfenster geschlossen haben. Diese Erkenntnisse verweisen auf die überragende Bedeutung frühkindlicher Prägung, werden inzwischen auch von einer breiten Öffentlichkeit rezipiert und wurden zu gewichtigen Argumenten für eine Reform der Frühpädagogik.

Ogleich Eltern und Pädagogen seit jeher geläufig ist, dass sich in der Pubertät und frühen Adoleszenz noch einmal tiefgreifende Wandlungen im Verhalten der Heranwachsenden vollziehen, gab es bis vor kurzem nur wenige systematische Untersuchungen dieser späten Phase der Hirnentwicklung. Zum einen galt die Aufmerksamkeit der Forscher aus erwähnten Gründen vornehmlich den frühen Entwicklungsprozessen. Zum anderen vollzieht sich bei den meisten Tieren der Übergang zur Geschlechtsreife und zum Erwachsensein innerhalb sehr kurzer Zeitfenster, was die Erforschung adoleszenzspezifischer Entwicklungsprozesse erschwert. Beim Nesthocker Mensch erstreckt sich diese Übergangsphase zwar über viele Jahre, es fehlten bislang jedoch die Messinstrumente, um die Hirnprozesse zu erfassen, die diese späte Reifungsphase

bestimmen. Post mortem-Untersuchungen legten nahe, dass es auch in der Adoleszenz noch zu diskreten Veränderungen der Hirnanatomie kommt. Man beobachtete eine Zunahme der weißen Substanz, was auf eine späte Reifung der Markscheiden von Nervenbahnen zurückgeführt wurde und eine geringgradige Umverteilung des Volumens der Großhirnrinde in umschriebenen Bereichen. Dass diese strukturellen Veränderungen jedoch mit einer tiefgreifenden Modifikation der funktionellen Architektur einhergehen, erschloss sich erst durch den Einsatz moderner bildgebender Verfahren wie der funktionellen Kernspintomographie, der Magnetoenzephalographie, der hochauflösenden Elektroenzephalographie und der erst seit kurzem zur Verfügung stehenden Traktographie, die auf einer Verfeinerung der strukturellen Magnetresonanztomographie beruht. Ergänzt werden diese aufregenden Befunde über eine späte Reorganisation neuronaler Netzwerke durch erste Hinweise, dass auch noch in der Adoleszenz bestimmte molekulare Bausteine ausgewechselt werden, wodurch die funktionellen Eigenschaften bestimmter Nervenzellen eine nachhaltige Veränderung erfahren. Somit bestätigen neurobiologische Erkenntnisse Freuds Vermutung, dass es sich bei der Adoleszenz um eine Reifungsphase handelt, in der sich noch einmal ein Fenster öffnet, um Entwicklungsprozesse zu beeinflussen, weil es hier noch einmal zu tiefgreifenden Reorganisationsprozessen kommt.

Die Beiträge dieses Bandes handeln von dieser Entwicklungsphase und betrachten sie aus den Blickwinkeln unterschiedlichster Wissenswelten. Psychoanalytische, geistesgeschichtliche und kognitionspsychologische Sichtweisen finden ebenso Berücksichtigung wie kognitionswissenschaftliche, neurobiologische und klinische Perspektiven. Zu erwarten steht, dass die Untersuchungen dieser späten Phase der Hirnentwicklung des Menschen unser Verständnis über das Zusammenspiel von Anlage und Umwelt ebenso nachhaltig prägen werden wie die Studien zur frühen Hirnentwicklung. Vermutet werden darf ferner, dass die Analyse der späten Hirnentwicklung, weit mehr als dies für die Erforschung der frühen Phasen zutrifft, Auskunft über die Grundlagen des spezifisch Menschlichen geben wird und über Erkrankungen des Gehirns, die nur dem Menschen eigen sind. Die meisten der frühen Entwicklungs- und Prägungsprozesse ähneln sich bei Tier und Mensch und dienen der Herausbildung sensorischer und exekutiver Fähigkeiten. Nur das menschliche Gehirn entwickelt sich noch Jahre nach Erreichen der Geschlechtsreife weiter und es darf angenommen werden, dass diese protrahierte Entwicklung der Ausbildung spezifisch menschlicher Fähigkeiten dient, die sich ihrerseits nur durch die Einbettung in ein reiches, soziokulturelles Umfeld erwerben lassen.

Professor Dr. Wolf Singer

Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Frankfurt/M.,  
Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS), Frankfurt/M.,  
Ernst Strüngmann Institut für Hirnforschung (ESI), Frankfurt/M.