



Das World Journal of Biological Psychiatry

ISSN: (Print) (Online) Homepage der Zeitschrift: <https://www.tandfonline.com/loi/iwbp20>

Verbringen Sie Zeit im Freien für Ihr Gehirn – eine ausführliche Längsschnitt-MRT-Studie

Simone Kühn, Anna Mascherek, Elisa Filevich, Nina Lisofsky, Maxi Becker, Oisín Butler, Martyna Lochstet, Johan Mårtensson, Elisabeth Wenger, Ulman Lindenberger & Jürgen Gallinat

Um diesen Artikel zu zitieren: Simone Kühn, Anna Mascherek, Elisa Filevich, Nina Lisofsky, Maxi Becker, Oisín Butler, Martyna Lochstet, Johan Mårtensson, Elisabeth Wenger, Ulman Lindenberger & Jürgen Gallinat (2022) Verbringen Sie Zeit im Freien für Ihr Gehirn – eine eingehende longitudinale MRT-Studie, *The World Journal of Biological Psychiatry*, 23:3, 201-207, DOI:[10.1080/15622975.2021.1938670](https://doi.org/10.1080/15622975.2021.1938670)

Um auf diesen Artikel zu verlinken: <https://doi.org/10.1080/15622975.2021.1938670>




© 2021 Die Autoren. Herausgegeben von Informa UK Limited, firmierend als Taylor & Francis Group.



Online veröffentlicht: 07. Juli 2021.




Senden Sie Ihren Artikel an diese Zeitschrift 



Artikelaufrufe: 14483



Verwandte Artikel anzeigen 



Crossmark-Daten anzeigen 



Verbringen Sie Zeit im Freien für Ihr Gehirn – eine ausführliche Längsschnitt-MRT-Studie

Simone Kühn^{A,B}, Anna Mascherek^B, Elisa Filewitsch^{C,D,E}, Nina Lisofsky^{C,B}, Maxi Becker^B, Oisín Butler^C,
Martyna Lochstet, Johan Mårtensson^F, Elisabeth Wenger^C, Ulman Lindenberger^C und Juergen Gallinat^B

^ALise-Meitner-Gruppe für Umweltneurowissenschaften, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin, Deutschland; ^BKlinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland; ^CZentrum für Lebensspannenpsychologie, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin, Deutschland; ^DBernstein Zentrum für Computational Neuroscience Berlin, Berlin, Deutschland; ^EInstitut für Psychologie, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland; ^FMedizinische Fakultät, Abteilung für Klinische Wissenschaften Lund, Logopädie, Phoniatrie und Audiologie, Universität Lund, Lund, Schweden; ^GMax Planck UCL Center for Computational Psychiatry and Aging Research, Berlin, Deutschland

ABSTRAKT

Ziele: Die Auswirkungen der Natur auf die körperliche und geistige Gesundheit sind ein aufstrebendes Thema in der empirischen Forschung mit zunehmendem Einfluss auf praktische Gesundheitsempfehlungen. Hier wollten wir den Zusammenhang zwischen dem Aufenthalt im Freien und der strukturellen Plastizität des Gehirns in Verbindung mit selbstberichteten Affekten untersuchen.

Methoden: Wir haben die Day2day-Studie ins Leben gerufen, die eine beispiellose eingehende Bewertung der Variabilität der Gehirnstruktur in einer seriellen Sequenz von 40–50 Aufnahmen der strukturellen Magnetresonanztomographie (MRT) von jedem der sechs jungen gesunden Teilnehmer über einen Zeitraum von 6–8 Monaten umfasst (N=6). Insgesamt 281 MRT-Scans.

Ergebnisse: Eine Gesamthirnanalyse ergab, dass die im Freien verbrachte Zeit einen positiven Zusammenhang mit dem Volumen der grauen Substanz im rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex und positiven Auswirkungen hatte, auch nach Berücksichtigung von körperlicher Aktivität, Flüssigkeitsaufnahme, Freizeit und Sonnenstunden.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse deuten auf eine bemerkenswerte und potenziell verhaltensrelevante Plastizität der Gehirnstruktur innerhalb eines kurzen Zeitrahmens hin, der durch die tägliche Zeit im Freien bedingt ist. Dies steht im Einklang mit anekdotischen Belegen für die gesundheits- und stimmungsfördernden Wirkungen eines Spaziergangs. Die Studie könnte erste Hinweise auf die zugrunde liegenden zerebralen Mechanismen sogenannter grüner Verordnungen mit möglichen Konsequenzen für zukünftige Interventionen bei psychischen Störungen liefern.

ARTIKEL GESCHICHTE

Eingegangen am 16. Februar 2021,
überarbeitet am 16. Mai 2021
Angenommen am 31. Mai 2021

SCHLÜSSELWÖRTER

Strukturelle MRT; Zeit im Freien
verbracht; beeinflussen; tägliche
Schwankungen; dorsolateraler
präfrontaler Kortex

Einführung

Heutzutage verbringen Erwachsene 80–90 % ihrer Zeit in Innenräumen (Klepeis et al. 2001; Kirchner et al. 2009). Dabei handelt es sich um eine relativ neue evolutionäre Entwicklung, die wahrscheinlich mit den in den letzten Jahrhunderten beobachteten Urbanisierungsprozessen zusammenhängt. Eine wachsende Zahl von Untersuchungen zu dieser überwiegend in Innenräumen lebenden Bevölkerung zeigt, dass sich die Exposition gegenüber der natürlichen Umgebung, aber auch die Zeit im Freien, unabhängig davon, ob die Zeit in der Natur oder in der Stadt verbracht wurde, positiv auf die Gesundheit auswirkt. In der bisherigen Literatur wurde die Zeit, die man im Freien verbringt, negativ mit dem Risiko einer chronischen Erkrankung bei Erwachsenen in Verbindung gebracht (Beyer et al. 2018) und Kinder (Lingham et al. 2020). Ebenso gibt es Hinweise auf einen Zusammenhang mit der psychischen Gesundheit, da der Aufenthalt im Freien das Wohlbefinden von Jugendlichen steigert (Belanger et al. 2019) und reduziert

depressive Symptome bei Erwachsenen (Kerr et al. 2012). Ob sich der Aufenthalt im Freien positiv auf das Gehirn auswirkt, wurde bisher nicht untersucht. Dieser Zusammenhang könnte jedoch von entscheidender Bedeutung sein, da fast alle psychiatrischen Erkrankungen mit Hirnatrophien zusammenhängen (Goodkind et al. 2015) und das Gebot, ins Grüne zu gehen, findet in der Praxis immer mehr Beachtung (Kondo et al. 2020; Robinson et al. 2020). Es hat sich gezeigt, dass Menschen, die in städtischen Umgebungen leben, weniger Zeit im Freien verbringen als diejenigen, die in ländlichen Gebieten leben (Bodekaer et al. 2015; Matz et al. 2015). Die Erhöhung in Städten wiederum wurde mit einem geringeren Volumen und einer geringeren Dicke des dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) in Verbindung gebracht (Haddad et al. 2015; Besteher et al. 2017; Lammeyer et al. 2019; Kühn et al. 2020). Diese Unterschiede zwischen städtischer und ländlicher Erziehung wurden bisher meist auf das Leben in der Stadt zurückgeführt

stressiger (Lederbogen et al.2011). Da sich die im Freien verbrachte Zeit jedoch auch zwischen ländlichen und städtischen Bevölkerungsgruppen erheblich unterscheidet (neben anderen Parametern wie der Belastung durch Luftverschmutzung und Verkehrslärm), war es unser Ziel herauszufinden, wie sich die Zeit, die gesunde Menschen im Freien verbringen, im Alltag verändert könnte mit Variationen in der Gehirnstruktur verbunden sein. Basierend auf früherer Literatur, die zeigt, dass die Aufzucht in Städten mit einem geringeren DLPFC-Volumen einhergeht (Haddad et al.2015; Besteher et al.2017; Lammes et al.2009, 2010), wir hatten die a Priori-Hypothese, dass die graue Substanz bei DLPFC positiv mit der im Freien verbrachten Zeit assoziiert wäre.

Methoden und Materialien

Im Rahmen der Day2day-Studie (Filevich et al. 2017) untersuchten wir sechs medikamentenfreie, gesunde und derzeit in der Stadt lebende Personen (Alter 24–32 Jahre, ein Mann, alle leben in Berlin) an 40–50 Messpunkten, verteilt über 6–8 Monate, mit Magnetresonanztomographie (MRT). Die Teilnehmer arbeiteten am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, wo die Daten am MRT-Scanner zu einem für die Teilnehmer passenden Zeitpunkt und nicht nach einem strengen Zeitplan ausgewertet wurden. Die meisten Teilnehmer wurden zwischen Sommer 2013 und Anfang 2014 etwa zweimal pro Woche gescannt.

Die Ethikkommission des Charité-Universitätsklinikums Berlin stimmte der Studie zu, einschließlich der Tatsache, dass es sich bei den Teilnehmern um Mitarbeiter des Instituts handelte. Unser Grund dafür war zweifach; Erstens dachten wir, dass Wissenschaftler, die regelmäßig mit MRT arbeiten, am besten vorhersehen können, wie es ist, regelmäßig im Scanner zu sein und den typischen Datenhandling in der Wissenschaft gut genug kennen, um dem zustimmen oder widersprechen und auch der Weitergabe der Daten zustimmen zu können mit anderen Wissenschaftlern. Zweitens erschien es viel praktikabler und vernünftiger, Personen, die bereits im Labor arbeiteten, zur Teilnahme einzuladen, da die durch die Teilnahme an dieser Studie verursachten Lebensveränderungen für Mitglieder unserer Institute, die regelmäßig Pilotstudien für MRT-Studien sind, viel geringer waren wie auch immer. Die Studie wurde im Einklang mit der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

An jedem Tag der MRT-Untersuchung haben wir die von uns selbst gemeldete Zeit im Freien erfasst („Wie viel Zeit haben Sie in den letzten 24 Stunden im Freien verbracht?“ (in Stunden)). Darüber hinaus haben wir die Teilnehmer auch um Flüssigkeitsaufnahme gebeten („Wie viel haben Sie in den letzten 24 Stunden getrunken?“ (in Litern)), Freizeitmenge („Wie viel Freizeit hatten Sie in den letzten 24 Stunden?“ (in Stunden)), Menge koffeinhaltiger Getränke („Wie viele Tassen koffeinhaltiger Getränke“)

hatten Sie in den letzten 24 Stunden?“ (in Tassen) und auch „während der letzten 2 Stunden“), Umfang der körperlichen Betätigung („Wie viele Stunden haben Sie sich in den letzten 24 Stunden körperlich betätigt?“ (in Stunden)). Ebenso ein Fragebogen zu momentanen Affekten (Positive and Negative Affect Schedule, PANAS) (Watson et al.1988) und ein Gerät zur Messung der körperlichen Aktivität, das täglich die Anzahl der Schritte maß (Fitbit One, San Francisco, USA), wurden bewertet. Um saisonale Unterschiede zu erfassen, wurden die täglichen Sonnenstunden vom Deutschen Wetterdienst ermittelt (<http://www.dwd.de/>).

Um unsere Erkenntnisse mit den bisherigen Auswirkungen städtischer Erziehung in Beziehung zu setzen, wurde der sogenannte Urbanitätsscore (Pedersen und Mortensen2001; Lederbogen et al.2011; Haddad et al. 2015) wurde berechnet. Der Wert geht von einem konstanten Gradienten zwischen den Lebensjahren in Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern (kodiert als „3“) und Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern aus 10.000–100.000 Einwohner (kodiert als „2“) und ländliche Regionen mit <10.000 Einwohnern (kodiert als „1“), da die Kodierung mit den Jahren multipliziert wird, geben die Teilnehmer an, in der jeweiligen Umgebung gelebt zu haben.

MRT-Aufnahme

Strukturelle MRT-Daten des Gehirns unter Verwendung einer 3D-T1-gewichteten Magnetisierung vorbereiteten Gradienten-Echo-Sequenz (MPRAGE) (Wiederholungszeit (TR)¼2500 ms; Echozeit (TE)¼ 4,77 ms; TI¼1100 ms, Erfassungsmatrix¼ 256-256-176, Kippwinkel¼7; 1-1 – 1 mm Voxelgröße) wurde auf einem 3 Tesla Tim Trio (Siemens, Erlangen) erhalten.

Voxelbasierte Morphometrie

Wir haben Schätzungen des Volumens der grauen Substanz mithilfe von CAT12 unter Verwendung von SPM12 und Matlab unter Verwendung von Standardparametern erhalten (<http://www.neuro.uni-jena.de/cat12/CAT12-Handbuch.pdf>). CAT12 führt automatisch eine subjektinterne Neuausrichtung, Bias-Korrektur, Segmentierung und Normalisierung durch. Die Segmentierung in drei Voxelklassen (graue Substanz, weiße Substanz und Liquor cerebrospinalis) wurde mithilfe des adaptiven Maximums durchgeführt. A posteriori Segmentierung und Teilvolumensegmentierung. Die extrahierten Karten der grauen Substanz wurden mit einem FWHM-Kernel von 8 mm geglättet.

Die Verarbeitung umfasste mehrere Phasen der Qualitätsprüfung: Die Bilder wurden vor der Weiterverarbeitung visuell auf Artefakte überprüft. Anschließend wurde eine statistische Qualitätskontrolle basierend auf der Homogenität zwischen Subjekten nach der Segmentierung durchgeführt. Der Bewerter war gegenüber den anderen Daten und dieser speziellen Forschungsfrage blind.

statistische Analyse

Auf den resultierenden geglätteten Karten der grauen Substanz wurde eine lineare Regressionsanalyse des gesamten Gehirns unter Verwendung von Neuropointillist berechnet (<http://ibic.github.io/neuropointillist/>; Madhyastha et al.2018).

Neuropointillist ist eine R-Toolbox, die es ermöglicht, Neuroimaging-Daten einzulesen, Statistiken mit maßgeschneidertem R-Code für jedes einzelne Voxel zu berechnen, Ergebnisse auszugeben und die Daten im Neuroimaging-Raum (MNI) wieder zusammensetzen. Wir haben eine multiple Ganzhirn-Regression `lm()` aus dem `nlme`-Paket mit dem Subjekt als festem Faktor durchgeführt und dabei nur die im Freien verbrachten Stunden als Prädiktor verwendet. Erstens, weil dies unsere A-priori-Hypothese war und wir erst später versuchten, andere Variablen einzugeben, von denen wir annahmen, dass sie die beobachteten Effekte (Sonnenscheindauer, Menge der Flüssigkeitsaufnahme, Menge an Freizeit oder körperliche Aktivität) im Rahmen von erklären könnten eine eher explorative Analyse. Zweitens konvergierte das Modell bei der Eingabe der zusätzlichen Kovariaten in das Gesamthirnmodell nicht in jedem Voxel des Gehirns. Daher wurden die Kovariaten später auf das aus dem signifikanten Cluster extrahierte Volumen der grauen Substanz angewendet. Die resultierenden Gehirnbilder wurden mit einem Voxelschwellenwert von $p < 0,00015$ und ein Cluster-Schwellenwert von 101 benachbarten Voxeln, ermittelt mit der neuesten `3dClustSim`-Implementierung von AFNI (zweiseitiger Test, Alpha 0,05) zur Korrektur mehrerer Vergleiche.

Ergebnisse

Unter Anwendung eines multiplen Regressionsrahmens haben wir herausgefunden, dass die in den letzten 24 Stunden im Freien verbrachte Zeit einen vorübergehenden positiven Effekt zum Zeitpunkt der MRT-Untersuchung vorhersagte ($B = 0,068$, $T = 2,63$, $P = 0,009$, angepasst $R^2 = 0,961$), aber kein negativer Einfluss ($B = 0,023$, $T = 1,08$, $P = 0,282$) (Kontrolle der Datenabhängigkeit durch Eingabe der Teilnehmer als Dummy-codierte Regressoren). Um zu testen, ob der beobachtete Effekt durch Störfaktoren wie Sonnenscheindauer, Menge der Flüssigkeitsaufnahme, Menge an Freizeit oder körperliche Aktivität verursacht wurde, wurden diese Variablen als Kovariaten hinzugefügt. Allerdings blieben die im Freien verbrachten Stunden ein wichtiger Prädiktor ($B = 0,081$, $T = 2,55$, $P = 0,011$), aber Stunden Freizeit ($B = 0,030$, $T = 2,85$, $P = 0,005$) und Sonnenscheindauer ($B = 0,016$, $T = 2,23$, $P = 0,027$) waren ebenfalls prädiktiv für einen positiven Effekt, während die Flüssigkeitsmenge ($B = 0,185$, $T = 0,46$, $P = 0,68$) und körperliche Aktivität ($B = 0,000007$, $T = 0,87$, $P = 0,39$) war nicht signifikant (angepasst $R^2 = 0,963$).

In einer Analyse des gesamten Gehirns, bei der das regionale Volumen der grauen Substanz mit den im Freien verbrachten Stunden in Zusammenhang gebracht wurde, beobachteten wir a

signifikanter positiver Zusammenhang zwischen im Freien verbrachten Stunden und einem einzelnen Cluster im rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC, 18, 52, 26; 105 Voxel, Brodmann-Bereich 9, [Abbildung 1](#)). Bei der Behandlung des Subjekts als Zufallsfaktor in der Analyse war das Ergebnis im rechten DLPFC das gleiche, allerdings konvergierte das Modell nicht für alle Voxel im Gehirn. Daher sind wir dazu übergegangen, die Ergebnisse des Modells wiederzugeben, bei dem das Subjekt als fester Faktor behandelt wird. Das gleiche Phänomen trat auf, als wir alle unten genannten Kovariaten hinzufügten. Um die Auswirkungen der Sonnenscheindauer, der Menge an Flüssigkeitsaufnahme, der Menge an Freizeit oder der körperlichen Aktivität auf die vorliegenden Ergebnisse zu testen, wurde eine multiple Regression berechnet, die die mittlere Schätzung des Volumens der grauen Substanz des extrahierten Clusters vorhersagt. Keiner der zusätzlichen Regressoren erreichte eine Signifikanz (Flüssigkeitsaufnahmemenge: $B = 0,0005$, $T = 0,06$, $P = 0,95$; physische Aktivität: $B = 0,0000019$, $T = 1,18$, $P = 0,23$; Stunden Freizeit: $B = 0,00019$, $T = 0,92$, $P = 0,35$; Sonnenscheindauer: $B = 0,00016$, $T = 1,09$, $P = 0,28$), während die im Freien verbrachten Stunden weiterhin ein signifikanter Prädiktor für die DLPFC-graue Substanz waren ($B = 0,0015$, $T = 2,35$, $P = 0,019$, angepasst $R^2 = 0,9996$). Die durch die im Freien verbrachten Stunden erklärte Varianz betrug 3 %.

Das DLPFC-Volumen der grauen Substanz war jedoch nicht mit einem positiven Effekt verbunden ($P = 0,418$) und es war kein Vermittler der Beziehung zwischen im Freien verbrachten Stunden und positivem Affekt (standardisierter indirekter Effekt) $0,0007$ mit einem Konfidenzintervall zwischen $0,0027$ und $0,0071$).

Bei der visuellen Untersuchung wurde der Urbanitätswert der Erziehung der Teilnehmer ermittelt ([Tabelle 1](#)) schien nicht mit dem Schnittpunkt des dargestellten DLPFC-Volumens in Zusammenhang zu stehen ([Abbildung 1C](#)).

In einem post-hoc Bei der Analyse untersuchten wir die Auswirkungen der Tageszeit, zu der die MRT-Untersuchung durchgeführt wurde, da wir zuvor über die Auswirkungen der Tageszeit auf globale MRT-Messungen für dieselben Daten berichtet hatten, wobei die Variable 1 % der Varianz erklärte (Karch et al.2019). Allerdings war die Tageszeit kein signifikanter Prädiktor, auch nicht für die graue Substanz der DLPFC ($P = 0,898$), noch für positive Auswirkungen ($P = 0,086$). Darüber hinaus änderte sich dadurch nichts am allgemeinen Muster der hier dargestellten Ergebnisse.

Diskussion

Die tägliche Variation der im Freien verbrachten Zeit war mit einem positiven Ergebnis verbunden (Belanger et al.2019), aber keine negativen Auswirkungen. Das Fehlen eines Zusammenhangs zwischen Stunden im Freien und negativen Auswirkungen kann durch die Tatsache erklärt werden, dass die Bewertungen negativer Auswirkungen nach links verzerrt waren, und

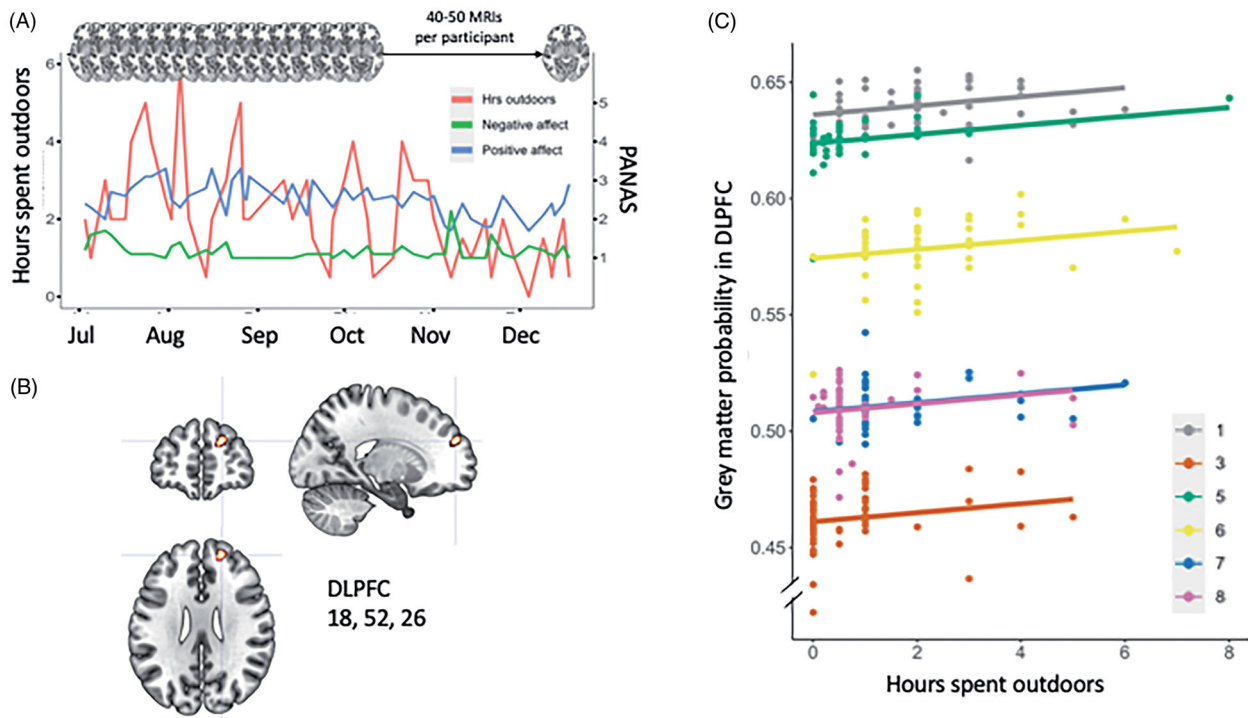


Abbildung 1.(A) Darstellung der von einem einzelnen Probanden gesammelten Daten, (B) Cluster im dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC), der einen positiven Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeit der grauen Substanz und den selbst gemeldeten Stunden im Freien zeigt, und (C) nur zur Veranschaulichung, wir Zeichnen Sie ein Liniendiagramm, das die Regression der extrahierten Werte der grauen Substanz jedes Subjekts aus DLPFC (rechts) darstellt. Die Y-Achse weist eine Unterbrechung auf, wie durch das Unterbrechungssymbol angezeigt.

Tabelle 1.Charakterisierung der Studienteilnehmer (SD in Klammern).

AUSWEIS ^a	1	3	5	6	7	8
Gewicht bei Aufnahme in die Studie (kg) ^b	58,1	68,8	64,9	63,0	72,3	59,7
Mittleres Körpergewicht (kg) ^b	59,4 (0,83)	69,0 (0,83)	63,5 (0,72)	63,1 (0,68)	71,8 (0,71)	59,2 (0,46)
Durchschnittliche Stunden körperlicher Aktivität ^c	0,13 (0,32)	0,22 (0,55)	0,35 (0,77)	1,55 (1,04)	0,51 (0,76)	0,21 (0,55)
Mittlere Flüssigkeitsaufnahme (l) ^c	1,86 (0,43)	2,12 (0,70)	1,68 (0,76)	2,81 (0,86)	3,38 (0,93)	1,50 (0,57)
Durchschnittliche Anzahl alkoholischer Getränke	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0,57 (1,5)	0,66 (1,56)	0,18 (0,65)
Durchschnittliche Anzahl koffeinhaltiger Getränke	0,02 (0,14)	6 (1,63)	1,68 (1,54)	1,70 (1,50)	2,08 (1,02)	1,51 (1,10)
Durchschnittliche Anzahl koffeinhaltiger Getränke in den letzten 2	0 (0)	0,96 (0,39)	0,68 (0,91)	0,18 (0,49)	0,28 (0,60)	0,40 (0,61)
Stunden, Durchschnittliche Anzahl Zigaretten ^c	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0,03 (0,16)
Urbanitätsbewertung während der ersten 15 Lebensjahre	33	15	45	30	33	15

^aDie Teilnehmer-ID basiert auf der Nummerierung, die im Protokollpapier der Day2day-Studie verwendet wird (Filevich et al.2017).

^bDas Gewicht wurde mit Kleidung gemessen.

^cIn den letzten 24 Stunden vor der MRT-Untersuchung.

das die Werte insgesamt recht niedrig waren ($M=1,82$). Außerdem war die vorliegende Stichprobe erheblich jünger als die Stichprobe älterer Erwachsener, die in Seniorenwohnanlagen lebten, bei denen die depressiven Symptome Berichten zufolge geringer ausfielen, je mehr sie sich im Freien aufhielten (Kerr et al. 2012). Generell kann man davon ausgehen, dass unser Befund im Einklang mit den Ergebnissen einer Metaanalyse zu den positiven Auswirkungen der Exposition gegenüber der Natur steht und deutlichere Zusammenhänge mit positiven als mit negativen Auswirkungen beobachtet wurden (McMahan und Estes. 2015). Allerdings wurde in der vorliegenden Studie nicht zwischen der Zeit, die man draußen in der Natur verbringt, und anderen eher städtischen Kontexten unterschieden.

Am auffälligsten und unabhängig vom Affekt beobachteten wir, dass mehr Stunden im Freien bei DLPFC mit einem höheren Volumen an grauer Substanz verbunden waren. Anschließend haben wir nach Faktoren gesucht, die möglicherweise mit dem Aufenthalt im Freien in Zusammenhang stehen und möglicherweise ebenfalls einen positiven Effekt haben oder einen potenziellen Mechanismus darstellen könnten, durch den Zeit im Freien zu einem höheren Volumen an grauer Substanz bei DLPFC führen könnte. Es überraschte uns, dass keine dieser Kovariaten, nämlich Sonnenscheindauer, Menge der Flüssigkeitsaufnahme, Stunden Freizeit oder körperliche Aktivität, die Varianz im DLPFC-Volumen erklärten. Ein Faktor, den wir nicht eintragen konnten

Die wichtigste Kovariate, die möglicherweise den beobachteten Effekt erklärt, ist die Luftverschmutzung. Es ist bekannt, dass die Luftverschmutzung in Innenräumen oft stärker ist als im Freien, wenn die Luft nicht gut belüftet ist, was die Gesundheit der Bewohner ernsthaft beeinträchtigen kann (Leung2015; WER2021). Dies könnte möglicherweise die positiven Auswirkungen des Aufenthaltes im Freien auf das Gehirn und die Auswirkungen erklären. Es sind jedoch weitere Studien erforderlich, in denen der genaue Zeitpunkt und Ort der Außenexposition ermittelt wird, damit diese mit Luftverschmutzungsmessungen in Zusammenhang gebracht werden können, idealerweise in Kombination mit Geräten zur Messung der Luftqualität in Innenräumen.

Bis zu einem gewissen Grad könnte der gegenwärtige Zusammenhang zwischen der im Freien verbrachten Zeit und dem DLPFC-Volumen mit früheren Studien übereinstimmen, die einen Zusammenhang zwischen städtischer Erziehung und niedrigerer DLPFC-Struktur berichten (Haddad et al.2015; Besteher et al.2017; Lammeyer et al.2019; Kühn et al.2020), seitdem es ist berichtet, dass Stadtbewohner weniger Zeit im Freien verbrachten (Bodekaer et al.2015; Matz et al.2015). Zur Beurteilung sind jedoch weitere Daten erforderlich. Die Teilnehmer verbrachten die Zeit im Freien (Natur vs. städtischer Kontext), um eine stärkere Verbindung zur vorherigen Literatur herzustellen. In der vorliegenden Stichprobe von nur sechs Teilnehmern, die wir auch nach der Umgebung befragt haben, in der sie aufgewachsen sind, ist der Abschnitt (Abbildung 1C) schien keinen starken Einfluss der ländlichen vs. städtischen Erziehung widerzuspiegeln. Bei einer kleinen Population, deren Ziel darin bestand, die Variabilität innerhalb eines Subjekts zu untersuchen, dürfte dies jedoch keine Überraschung sein.

Die vorliegenden Ergebnisse gehen deutlich über frühere Ergebnisse hinaus, indem sie zeigen, dass selbst ökologisch gültige tägliche Schwankungen der im Freien verbrachten Zeit mit dem DLPFC-Volumen verknüpft sind, und nicht nur langfristige Expositionen gegenüber bestimmten Umgebungen (Haddad et al.2015; Besteher et al.2017; Lammeyer et al.2019; Kühn et al.2020).

Der Zusammenhang zwischen der im Freien verbrachten Zeit und dem DLPFC-Volumen könnte auch im Licht früherer Studien interpretiert werden, in denen die Auswirkungen der Naturexposition auf die kognitiven Funktionen untersucht wurden, unter der Annahme, dass die Teilnehmer tatsächlich die meiste Zeit draußen in der Natur verbrachten (was noch untersucht werden muss). Zwei Metaanalysen haben gezeigt, dass Eingriffe in die Natur im Freien, aber auch der Umgang mit Fotos und Videomaterial, das die Natur darstellt, zu Verbesserungen in kognitiven Bereichen wie der kognitiven Flexibilität und dem Arbeitsgedächtnis führen können (Ohly et al.2016; Stevenson et al. 2018). Alle kognitiven Funktionen, die zuvor mit dem präfrontalen Kortex verknüpft waren (Yuan und Raz2014).

Um diesen Zusammenhang weiter zu untersuchen, könnten zukünftige Studien GPS-Tracking zur Analyse nutzen. Wo Einzelpersonen

verbringen ihre Zeit im Freien, um die Auswirkungen von Grün- und Stadträumen (und damit Luftverschmutzung) zu entwirren. Es ist bemerkenswert, dass die Exposition gegenüber Grünflächen positiv mit dem Wohlbefinden von Personen zusammenhängt, die während der Verarbeitung negativer Emotionen eine geringere DLPFC-Aktivität zeigen (Tost et al.2019), ein Befund, der den möglichen Zusammenhang zwischen der DLPFC-Funktion und den Reaktionen auf das Verbringen von Zeit im Freien unterstreicht.

Die Tatsache, dass wir eine Veränderung der grauen Substanz in der DLPFC in der Größenordnung von 3 % fanden, steht im Einklang mit vielen experimentellen Studien, in denen die Teilnehmer Interventionen ausgesetzt waren, von denen bekannt ist, dass sie sich positiv auf das Gehirn auswirken, z. B. körperliche Betätigung oder kognitives Training. Die Zuwächse betragen normalerweise etwa 2-5 % des Volumens der grauen Substanz (eine Übersicht finden Sie unter Lövdén et al.2013). Es ist dort. Daher ist es bemerkenswert, dass wir in diesem eher naturalistischen Studiendesign, das tägliche Variationen bewertet, Effekte ähnlicher Größe finden.

Die Tatsache, dass wir tägliche Schwankungen in der Gehirnstruktur beobachten, scheint im Widerspruch zu der Annahme zu stehen, dass die mithilfe der strukturellen MRT gemessene Gehirnstruktur normalerweise als relativ stabiles Merkmal angesehen wird. Allerdings gibt es immer mehr Hinweise darauf, dass sich die Gehirnstruktur innerhalb weniger Stunden kurzfristig verändert (Tost et al.2010; Mansson et al.2020).

Eine Einschränkung der vorliegenden Studie ist die kleine und selektive Stichprobe. Die Teilnehmer hatten keinen übermäßigen Nikotin-, Alkohol- und/oder Drogenkonsum, was eine Kontrolle dieser Variablen ausschließt. In ähnlicher Weise beobachteten wir einen deutlich negativen Effekt von Stunden Freizeit auf positive Affekte, was auffallend erscheinen mag. Die Teilnehmer waren alle im akademischen Bereich tätig, was oft bedeutet, dass Wissenschaftler sich mit ihrer Arbeit identifizieren und diese möglicherweise als lohnend empfinden. Daher dürfte die Freizeit in einem geringeren Kontrast zur Arbeitszeit stehen. Zukünftige Studien sind jedoch erforderlich, die ein ähnlich detailliertes Längsschnittstudiendesign verfolgen, jedoch mit größerer Variabilität in den Gewohnheiten, dem beruflichen Hintergrund und dem Grad der körperlichen Fitness der Teilnehmer. Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass die vorliegende Studie nicht interventionell war. Um stärkere kausale Schlussfolgerungen zu ziehen, wäre ein Forschungsdesign erforderlich, bei dem der Aufenthalt im Freien experimentell manipuliert wird.

Zusammenfassend unterstreicht das vorliegende Ergebnis, wie wichtig es ist, wie und in welchen Umgebungen (drinnen vs. draußen) wir unser tägliches Leben verbringen. Weitere Forschung ist erforderlich, um den mechanistischen Zusammenhang zwischen der Exposition im Freien und strukturellen Schwankungen des Gehirns zu untersuchen, wobei der Einfluss der Exposition gegenüber natürlichen Umgebungen und Luftverschmutzung von Interesse sein könnte. Darüber hinaus,

Es wäre äußerst relevant, mögliche kognitive Auswirkungen der im Freien verbrachten Zeit zu testen. Da psychiatrische Störungen immer wieder mit präfrontalen strukturellen Defiziten in Verbindung gebracht werden (Goodkind et al. 2015), sogenannte Outdoor-Rezepte (Kondo et al. 2020) könnte ein hilfreiches Mittel sein, um diesen neuronalen Veränderungen entgegenzuwirken und die Stimmung zu verbessern. Basierend auf der Relevanz präfrontaler Funktionen in unserer Gesellschaft insgesamt könnten Maßnahmen, die darauf abzielen, die Zeit, die man auf Bevölkerungsebene im Freien verbringt, zu erhöhen, eine interessante Folge des vorliegenden Ergebnisses sein.

Notiz

1. Wenn wir uns auf Zeit beziehen, die wir im Freien verbringen, beziehen wir uns auf Literatur, die nicht zwischen der Exposition in der natürlichen oder städtischen Umgebung unterscheidet.

Danksagungen

Keiner.

Offenlegungserklärung

Die Autoren berichten von keinem Interessenkonflikt.

Finanzierung

Diese Arbeit wurde vom Max-Planck-Institut für Bildungsforschung unterstützt.

Erklärung zur Datenverfügbarkeit

Die Daten wurden geteilt und können auf Anfrage an den Erstautor mit daran interessierten Wissenschaftlern geteilt werden.

Verweise

- Belanger M, Gallant F, Dore I, O'Loughlin JL, Sylvestre MP, Abi Nader P, Larouche R, Gunnell K, Sabiston CM. 2019. Körperliche Aktivität vermittelt den Zusammenhang zwischen Zeit im Freien und psychischer Gesundheit. *Vorheriger Med Rep*. 16:101006. Bestehar B, Gaser C, Spalthoff R, Nenadic I. 2017. Zusammenhänge zwischen urbaner Erziehung und kortikaler Dicke und Gyrfizierung. *J Psychiater Res*. 95:114–120.
- Beyer KMM, Szabo A, Hoormann K, Stolley M. 2018. Zeit Aufenthalt im Freien, Aktivitätsniveau und chronische Krankheiten bei amerikanischen Erwachsenen. *J Behav Med*. 41(4):494–503.
- Bodekaer M, Petersen B, Philipsen PA, Heydenreich J, Thieden E, Wulf HC. 2015. Sonnenexpositionsmuster von Kindern in Städten, Vorstädten und auf dem Land: eine Dosimetrie- und Tagebuchstudie mit 150 Kindern. *Photochem Photobiol Sci*. 14(7):1282–1289.
- Filevich E, Lisofsky N, Becker M, Butler O, Lochstet M, Martensson J, Wenger E, Lindenberger U, Kuhn S. 2017. Day2day: Untersuchung der täglichen Variabilität des Magnetismus Resonanzbildgebende Maßnahmen über ein halbes Jahr. *BMC Neurosci*. 18(1):65.
- Goodkind M, Eickhoff SB, Oathes DJ, Jiang Y, Chang A, Jones-Hagata LB, Ortega BN, Zaiko YV, Roach EL, Korgaonkar MS, et al. 2015. Identifizierung eines gemeinsamen neurobiologischen Substrats für psychische Erkrankungen. *JAMA Psychiatrie*. 72(4):305–315.
- Haddad L, Schafer A, Streit F, Lederbogen F, Grimm O, Wust S, Deuschle M, Kirsch P, Tost H, Meyer-Lindenberg A. 2015. Die Gehirnstruktur korreliert mit städtischer Erziehung, einem umweltbedingten Risikofaktor für Schizophrenie. *Schizophre Bulle*. 41(1):115–122.
- Karch JD, Filevich E, Wenger E, Lisofsky N, Becker M, Butler O, Martensson J, Lindenberger U, Brandmaier AM, Kuhn S. 2019. Identifizierung von Prädiktoren für die Varianz innerhalb einer Person bei MRT-basierten Schätzungen des Gehirnvolumens. *Neurobild*. 200: 575–589.
- Kerr J, Marshall S, Godbole S, Neukam S, Crist K, Wasilenko K, Golshan S, Buchner D. 2012. Der Zusammenhang zwischen Outdoor-Aktivitäten und Gesundheit bei älteren Erwachsenen mit GPS. *Int J Environ Res Public Health*. 9(12):4615–4625.
- Kirchner S, Derbez M, Duboudin C, Elias P, Garrigue J, Gregoire A, Lucas JP, Pasqueir N, Ramaloh O, Weiss N. 2009. Luftqualität in Innenräumen in französischen Wohnungen. *Air Infiltration and Ventilation Centre, Belgien*. Beitragsbericht 12.
- Klepeis NE, Nelson WC, Ott WR, Robinson JP, Tsang AM, Switzer P, Behar JV, Hern SC, Engelmann WH. 2001. Die National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): eine Ressource zur Bewertung der Exposition gegenüber Umweltschadstoffen. *J Expo Anal Environ Epidemiol*. 11(3):231–252.
- Kondo MC, Oyekanmi KO, Gibson A, South EC, Bocarro J, Hipp JA. 2020. Naturrezepte für die Gesundheit: eine Überprüfung der Beweise und Forschungsmöglichkeiten. *Int J Environ Res Public Health*. 17(12):4213.
- Kühn S, Banaschewski T, Bokde ALW, Buchel C, Quinlan EB, Desrivieres S, Flor H, Grigis A, Garavan H, Gowland P, et al. 2020. Gehirnstruktur und Lebensraum: Verraten uns die Gehirne unserer Kinder, wo sie aufgewachsen sind? *Neurobild*. 222:117225.
- Lammeyer S, Dietsche B, Dannlowski U, Kircher T, Krug A. 2019. Hinweise auf Aberration des Gehirnnetzwerks bei gesunden Probanden mit städtischer Erziehung – eine multimodale DTI- und VBM-Studie. *Schizophre Res*. 208:133–137.
- Lederbogen F, Kirsch P, Haddad L, Streit F, Tost H, Schuch P, Wust S, Pruessner JC, Rietschel M, Deuschle M, et al. 2011. Stadtleben und städtische Erziehung beeinflussen die neuronale soziale Stressverarbeitung beim Menschen. *Natur*. 474(7352):498–501.
- Leung DY. 2015. Luftverschmutzung im Innen- und Außenbereich in Städten Umwelt: Herausforderungen und Chancen. *Front Environ Sci*. 2:1–7.
- Lingham G, Mackey DA, Lucas R, Yazar S. 2020. Wie funktioniert das? Zeit im Freien verbringen, vor Kurzsichtigkeit schützen? Eine Rezension. *Br J Ophthalmol*. 104(5):593–599.
- Lindenberger U, Wenger E, Martensson J, Lindenberger U, Backman L. 2013. Strukturelle Gehirnplastizität in der Erwachsenenbildung und -entwicklung. *Neurosci Biobehav Rev*. 37(9 Pt B): 2296–2310.
- Madhyastha T, Peverill M, Koh N, McCabe C, Flournoy J, Mills K, King K, Pfeifer J, McLaughlin KA. 2018. Aktuelle Methoden und Einschränkungen für die longitudinale fMRT-Analyse über die gesamte Entwicklung hinweg. *Dev Cogn Neurosci*. 33:118–128.

- Mansson KNT, Cortes DS, Manzouri A, Li TQ, Hau S, Fischer H. 2020. Das Betrachten von Bildern löst eine schnelle morphologische Vergrößerung im menschlichen visuellen Kortex aus. *Großhirnrinde*. 30(3):851–857.
- Matz CJ, Stieb DM, Brion O. 2015. Stadt-Land-Unterschiede in tägliche Zeit-Aktivitätsmuster, berufliche Tätigkeit und Wohnmerkmale. *Umweltgesundheit*. 14(1):88.
- McMahan EA, Estes D. 2015. Die Wirkung des Kontakts mit natürlichen Urale Umgebungen über positive und negative Auswirkungen: eine Metaanalyse. *J Posit Psychol*. 10(6):507–519.
- Ohly H, White MP, Wheeler BW, Bethel A, Ukoumunne OC, Nikolaou V, Garside R. 2016. Aufmerksamkeitswiederherstellungstheorie: eine systematische Überprüfung des Aufmerksamkeitswiederherstellungspotenzials der Exposition gegenüber natürlichen Umgebungen. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 19(7):305–343.
- Pedersen CB, Mortensen PB. 2001. Hinweise auf eine Dosis-Reaktionsbeziehung zwischen Urbanität während der Erziehung und Schizophrenierisiko. *Erzgeneralpsychiatrie*. 58(11): 1039–1046.
- Robinson JM, Jorgensen A, Cameron R, Brindley P. 2020. Let Die Natur sei deine Medizin: eine sozioökologische Untersuchung der umweltfreundlichen Verschreibung im Vereinigten Königreich. *Int J Environ Res Public Health*. 17(10):3460.
- Stevenson MP, Schilhab T, Bentsen P. 2018. Aufmerksamkeitswiederherstellungstheorie II: Eine systematische Übersicht zur Klärung von Aufmerksamkeitsprozessen, die durch die Exposition gegenüber natürlichen Umgebungen beeinflusst werden. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 21(4):227–268.
- Tost H, Braus DF, Hakimi S, Ruf M, Vollmert C, Hohn F, Meyer-Lindenberg A. 2010. Akute D2-Rezeptorblockade induziert eine schnelle, reversible Umgestaltung in menschlichen kortikalen Striatalkreisläufen. *Nat Neurosci*. 13(8):920–922.
- Tost H, Reichert M, Braun U, Reinhard I, Peters R, Lautenbach S, Hoell A, Schwarz E, Ebner-Priemer U, Zipf A, et al. 2019. Neuronale Korrelate individueller Unterschiede im affektiven Nutzen der realen Exposition gegenüber städtischen Grünflächen. *Nat Neurosci*. 22(9):1389–1393.
- Watson D, Clark LA, Tellegen A. 1988. Entwicklung und Validation von Kurzmaßen für positive und negative Auswirkungen: die PANAS-Skalen. *J Pers Soc Psychol*. 54(6):1063–1070. WER. 2021. Luftverschmutzung in Haushalten (in Innenräumen). WHO (2014). Online verfügbar unter: <http://www.who.int/indoorair/en/> (abgerufen am 3. April 2021).
- Yuan P, Raz N. 2014. Präfrontaler Kortex und exekutive Funktionen bei gesunden Erwachsenen: eine Metaanalyse struktureller Neuroimaging-Studien. *Neurosci Biobehav Rev*. 42:180–192.