

Johannes Resch

Jockgrim

Geographische Verteilung der Multiplen Sklerose und Vergleich mit geophysikalischen Grössen

Zusammenfassung

Ausgangspunkt dieser Arbeit waren ältere Untersuchungen, die eine Ähnlichkeit der Verteilung von MS-Häufigkeit und solarer Teilchenstrahlung beschrieben. Die Analyse der Prävalenzwerte zeigt eine deutlich engere Beziehung der globalen MS-Verteilung zur geomagnetischen als zur geographischen Breite. Diese Beziehung lässt sich am besten durch eine Gausskurve beschreiben, d. h. die MS-Häufigkeit nimmt in gemäßigten Breiten in Polrichtung rasch zu und in Polnähe wieder ab. Die MS-Verteilung zeigt räumliche Beziehungen zur Verteilung der solaren Teilchenstrahlung und der erdmagnetischen Aktivität und zum äusseren Strahlungsgürtel der Erde. Es werden weitere Überlegungen, die den 11jährigen Sonnenzyklus einbeziehen, angesprochen.

Die Multiple Sklerose (MS) ist eine Erkrankung des Zentralnervensystems (Gehirn und Rückenmark), die häufig zu schwerer körperlicher Behinderung führt. Sie kann bereits nach dem 15. Lebensjahr beginnen. Das durchschnittliche Erkrankungsalter liegt bei 30 Jahren. Zu Beginn handelt es sich meist um plötzlich auftretende entzündliche Herde in der weissen Substanz des Gehirns und Rückenmarks, die zu entsprechenden Symptomen führen (Lähmungen, Störungen der Sensibilität, des Sehens, des Gleichgewichts u. a.). Die Herde und damit auch die neurologischen Ausfälle bilden sich oft wieder weitgehend zurück. Mit steigender Anzahl solcher „Schübe“ nimmt aber in der Regel auch die bleibende

Behinderung zu. Auch langsam progrediente Verläufe sind möglich.

Über die Ursachen der MS ist trotz vieler Hypothesen bisher nichts Sicheres bekannt. Im Vordergrund der Diskussion stehen schon seit langem ein immunologisches Geschehen und eine Virusinfektion mit langer Latenzzeit („slow virus disease“)¹. Sicher finden bei der MS immunologische Vorgänge statt. Es spricht aber einiges dafür, dass es sich dabei vor allem um Sekundärprozesse handelt, also z. B. um Reaktionen auf eine vorangegangene Schädigung von Hirngewebe. Die Hypothese einer Virusinfektion mit langer Latenzzeit stützt sich vor allem darauf, dass es eine ganze Reihe

solcher Erkrankungen bei Tieren, aber auch beim Menschen gibt, die klinisch und pathologisch-anatomisch zu einem ähnlichen Bild führen wie die MS (z. B. Visna der Schafe oder die subakute sklerosierende Panenzephalitis [SSPE] beim Menschen). Bei diesen Erkrankungen wurden Viren aber nachgewiesen, was bei der MS trotz intensiver Suche bisher nicht gelang. Auch gibt es im Gegensatz zu diesen Krankheiten keine überzeugenden Hinweise auf eine Übertragbarkeit der MS.

Auch erbliche Einflüsse müssen angenommen werden. So ist bei Trägern der HLA-Antigene A3, B7, Dw2 und DR2 die Häufigkeit der MS 2–7mal so gross wie bei Nichtträgern².

Nach wie vor gilt auch heute noch die Feststellung, dass die MS auf noch unbekannte Umwelteinflüsse zurückzuführen ist und dass erbliche Faktoren mitwirken, wobei den letzteren in der Regel eine geringere Rolle zugeordnet wird. Als mögliches Agens werden in erster Linie Infektionserreger (Viren? Virusbruchstücke? Prionen?) diskutiert.

Bei geringen bzw. fehlenden Kenntnissen zur Ätiologie sind auch keine kausal überzeugenden Therapiekonzepte zu erwarten. Trotzdem ist in den letzten Jahr-

zehnten eine deutliche Zunahme der Lebenserwartung von MS-Patienten zu verzeichnen. So ergab eine Analyse der deutschen Mortalitätsstatistik eine Verlängerung der Lebenserwartung für MS-Patienten zwischen 1962 und 1977 von 53 auf 58 Jahre³. Das steht in Einklang mit der klinischen Erfahrung, dass viele Folgen der körperlichen Behinderung (wie z.B. Pyelonephritis, Pneumonie, Dekubitus u. a.), die früher häufig rasch zum Tode führten, heute durch bessere Betreuung vermieden oder erfolgreich behandelt werden. Wie bereits erwähnt, ist aber die Erkrankung selbst (also der Befall des Zentralnervensystems) bisher nicht zu heilen oder zu verhindern. So bedeutet höhere Lebenserwartung auch Zunahme der Patientenzahl, ja besonders der Schwerbehinderten, so dass die soziale Bedeutung der Krankheit eher zugenommen hat.

Die unbekannt Ätiologie führte auch zu vielen Versuchen, mit Mitteln der Epidemiologie Hinweise auf die Ursachen der MS zu erhalten. Auffallend ist die charakteristische Verteilung der MS auf der Erde. Sie kommt in gemäßigten Breiten, wie etwa in Mitteleuropa und den nördlichen USA, häufig vor. Zum Äquator hin wird sie seltener und wird in Äquatornähe praktisch nicht beobachtet (abgesehen von Zugewanderten). In Australien ist spiegelbildliches Verhalten festzustellen. Auf der Nord- und Südhalbkugel besteht somit ein Pol-Äquator-Gefälle. Ein Teil dieses Gefälles dürfte durch unterschiedliche soziale Verhältnisse und medizinische Versorgung bedingt sein (z.B. höhere Lebenserwartung in entwickelten Ländern). Das reicht aber nicht annähernd aus, um den gesamten Unterschied zu erklären.

Die MS-Verteilung lässt zunächst daran denken, dass Unterschiede in Klima, Flora oder Fauna, in der Lebensweise, der Ernährung, der Industrialisierung u. a. für die

unterschiedliche Häufigkeit verantwortlich sind. Es konnten aber bisher keine Faktoren des Klimas oder anderer Lebensbedingungen gefunden werden, die mit der MS-Verteilung auf der Erde deutlich übereinstimmen^{2,4}.

Die klare Nord-Süd-Beziehung der MS-Häufigkeit in verschiedenen Erdteilen ohne erkennbare Analogie in der Umwelt war bereits früher Anlass, die MS-Verteilung einer geophysikalischen Grösse mit klarer Nord-Süd-Beziehung gegenüberzustellen^{5,6}. Dabei wurde gezeigt, dass auf der Erdoberfläche gemessene Auswirkungen von zwei solaren Eruptionen (23. Feb. 1956 und 12. Nov. 1960) in ihrer geographischen Ausdehnung eine grosse Ähnlichkeit mit der MS-Verteilung hatten. Das führte zur Hypothese, dass die bei solchen Ereignissen auftretende Strahlung eine Rolle bei der MS-Entstehung spielen könnte⁶.

Bei den solaren Eruptionen („solar flares“) handelt es sich um gewaltige Strahlungsausbrüche auf der Sonne, die Stunden bis Tage anhalten (vor allem im Maximum des 11jährigen Sonnenzyklus). Neben Wellenstrahlung wird dabei hochenergetische Teilchenstrahlung (vor allem Protonen und Elektronen) frei, die auch die Erdatmosphäre erreicht. Dieser Anteil der Strahlung wird aufgrund seiner Ladung im Erdmagnetfeld zu den Polen hin abgelenkt, wodurch eine strenge Nord-Süd-Verteilung (bezogen auf die geomagnetische Breite) entsteht. Das Verhalten dieser Strahlung in grossen Höhen ist inzwischen durch Satellitenuntersuchungen genauer bekannt.

Die obige Hypothese wurde dadurch gestützt, daß die damals bekannten MS-Prävalenzwerte (Anzahl 37) eine engere Beziehung zur geomagnetischen als zur geographischen Breite zeigten (in Analogie zur solaren Teilchenstrahlung)⁶. Ein wesentlicher Ansatzpunkt für Kritik war aber, dass

die Zahl der damals verfügbaren Prävalenzwerte klein war und ihre Zuverlässigkeit z.T. gering erschien. Die daneben untersuchten MS-Sterbeziffern gelten aber im internationalen Vergleich wegen unterschiedlicher Erhebungsmethoden als nicht sehr zuverlässig. Aufgabe dieser Arbeit war es, die jetzt ca. 30 Jahre alten Ergebnisse auf der Grundlage einer jetzt verfügbaren grösseren Anzahl von zuverlässigeren Prävalenzwerten zu überprüfen.

Material und Methode

Eine umfassende Zusammenstellung der in der Literatur veröffentlichten Prävalenzwerte gab Kurtzke^{7,8}. Er teilte diese Werte nach Methodik und Zuverlässigkeit in verschiedene Klassen (A bis E) ein. Hier wurden nur die Werte berücksichtigt, die der Autor als „zuverlässig und vergleichbar“ klassifizierte (Klasse A). Acht Werte mit einem Untersuchungsgebiet von unter 35000 Einwohnern blieben unberücksichtigt. Dabei verblieben 82 Werte. Auf später erhobene Werte wurde bewußt verzichtet. Einmal fehlt eine neuere umfassende und klassifizierende Übersicht. Zum anderen berücksichtigen die neueren Felduntersuchungen auch die Ergebnisse moderner diagnostischer Verfahren (Computertomogramm, Kernspin u. a.), so dass sie mit der Klasse A von Kurtzke nicht mehr voll vergleichbar sind. Weiterhin können Nachfolgeerhebungen ohnehin wegen ihrer Unvergleichbarkeit mit Erstuntersuchungen nicht berücksichtigt werden.

Die verwendeten 82 Prävalenzwerte beruhen damit auf epidemiologischen Ersterhebungen mit Untersuchungsgebieten von jeweils über 35000 Einwohnern mit auch sonst vergleichbarer Methodik. Die Prävalenzwerte beziehen sich ausschliesslich auf eine jeweils klar definierte Wohnbevölkerung

(z. B. eine Stadt oder einen Verwaltungsbezirk) und auf einen bestimmten Zeitpunkt (Prävalenztag). Die Werte sind allerdings nicht altersstandardisiert. Dabei ist aber zu bemerken, dass sie ganz überwiegend aus entwickelten Industrieländern stammen, so dass extreme Unterschiede in der Bevölkerungsstruktur nicht zu erwarten sind.

Als geographische Bezugspunkte werden die geographische und die geomagnetische Breite bestimmt. Bei grösseren Gebieten (etwa kleineren Ländern) wird der ungefähre Bevölkerungsschwerpunkt gewählt. Die geomagnetische Breite bezieht sich nicht auf die Rotationsachse der Erde (wie die geographische), sondern auf die magnetische Erdachse, die um ca. 11° gegenüber der Rotationsachse geneigt ist. Zwischen geographischer und geomagnetischer Breite ergeben sich so Unterschiede bis zu 1000 km in Amerika, Ostasien und Australien, dagegen nur geringe Unterschiede in Europa und Afrika.

Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die 82 MS-Prävalenzwerte in Abhängigkeit von der geographischen Breite. Zunächst wird der deutliche Anstieg vom Äquator in Polrichtung erkennbar. Daneben sind aber auch deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Erdteilen zu erkennen. So sind die Werte von Nordamerika und Australien gegenüber denen Europas um etwa 8–10° (ca. 1000 km) in Richtung Äquator verschoben, die Werte aus Ostasien dagegen in Polrichtung. – Zur Nachprüfbarkeit der folgenden Rechnungen sind die Werte auch tabellarisch aufgelistet (Tabelle 1).

Werden dagegen die MS-Prävalenzen gegen die geomagnetische Breite aufgetragen (Abbildung 2), so verschwinden die in Abbildung 1 deutlich erkennbaren

Unterschiede zwischen den Erdteilen. Auch wird die Streuung der Werte insgesamt geringer, besonders zum Äquator hin. Eine engere Beziehung der MS zur geomagnetischen Breite im Vergleich zur geographischen Breite kommt somit schon bei der optischen Betrachtung zum Ausdruck.

Um den beobachteten Unterschied auch mathematisch zu erfassen und darüberhinaus zu prüfen, mit welcher Funktion die MS-Verteilung auf der Erde am besten zu beschreiben ist, wurden Regressionsanalysen mit verschiedenen Kurven durchgeführt, die jeweils optimal angepasst wurden. – Die

Betrachtung der Abbildung 1 und 2 lässt zunächst an eine Exponentialfunktion als geeignete Regressionskurve denken. Eine bessere Korrelation ist aber mit einer quadratischen Funktion zu erreichen (vgl. Tabelle 2). Zu diesen Regressionskurven passen aber die niedrigen Werte bei sehr hohen Breiten offensichtlich nicht, so dass auch eine Gerade keine schlechtere Beziehung zeigt. Eine deutlich bessere Korrelation wird aber durch eine (symmetrische) Gausskurve erreicht (Tabelle 2). Beachtenswert ist, dass alle untersuchten Funktionen mit der MS-Verteilung deutlich besser korre-

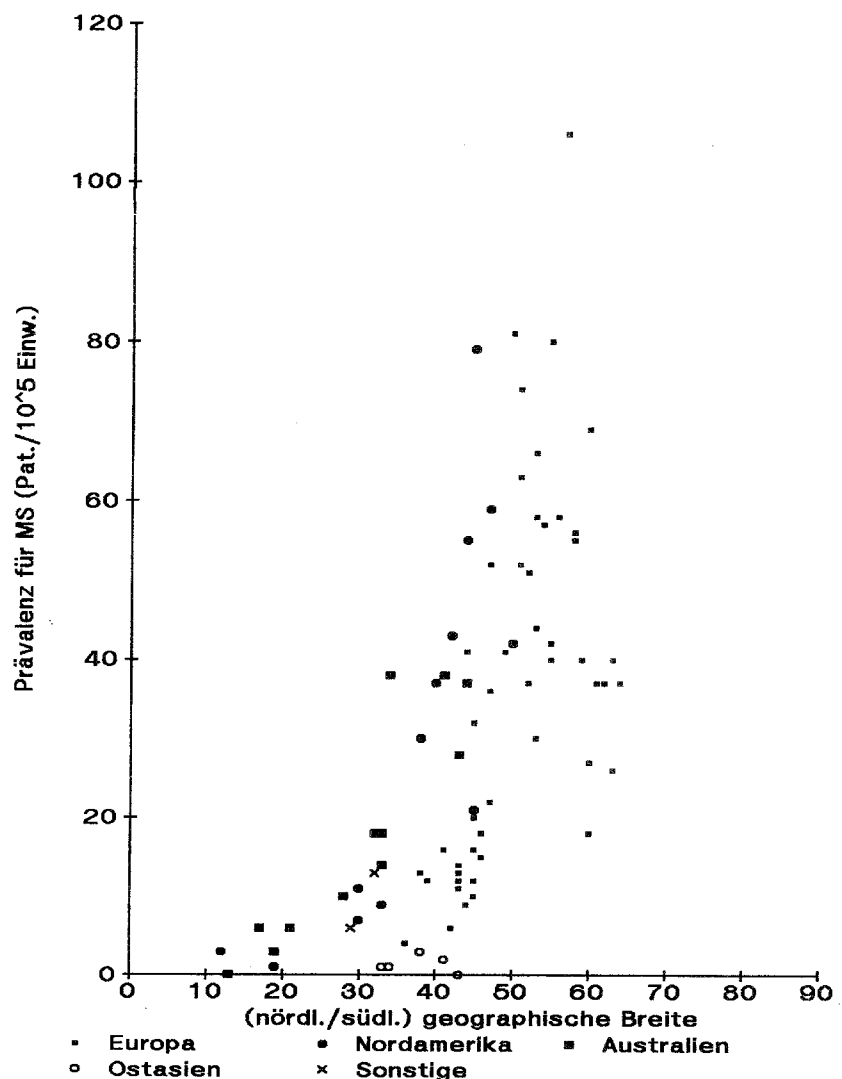


Abbildung 1. MS-Prävalenz und geographische Breite.

Eu: Europa NA: Nordamerika				Au: Australien As: Ostasien				Is: Israel Sü: Südafrika			
MS-Präv.	geogr. Breite	geom. Breite	Erdteil	MS-Präv.	geogr. Breite	geom. Breite	Erdteil	MS-Präv.	geogr. Breite	geom. Breite	Erdteil
44	53	55,5	Eu	16	41	42,6	Eu	9	33	44,3	NA
42	55	57,9	Eu	10	45	45,6	Eu	21	45	56,4	NA
63	51	54,7	Eu	11	43	43,7	Eu	59	47	54,4	NA
80	55	58,1	Eu	13	43	43,5	Eu	7	30	40,2	NA
55	58	61,1	Eu	12	43	43,5	Eu	3	12	23,5	NA
106	57	60,0	Eu	16	45	45,6	Eu	1	19	28,8	NA
40	55	58,9	Eu	52	47	48,2	Eu	79	45	55,7	NA
37	61	61,1	Eu	51	52	51,3	Eu	1	33	22,1	As
18	60	61,0	Eu	52	51	51,0	Eu	0	43	32,8	As
26	63	63,3	Eu	22	47	45,2	Eu	1	34	23,1	As
69	60	60,2	Eu	40	59	56,2	Eu	3	38	27,7	As
56	58	57,7	Eu	66	53	57,0	Eu	2	41	30,8	As
27	60	57,9	Eu	40	63	60,0	Eu	0	13	3,4	Au
58	56	56,5	Eu	15	46	47,3	Eu	10	28	39,3	Au
37	62	65,4	Eu	20	45	46,5	Eu	18	32	43,4	Au
37	64	69,3	Eu	13	38	38,1	Eu	18	33	41,3	Au
81	50	51,0	Eu	4	36	36,3	Eu	28	43	51,8	Au
57	54	54,6	Eu	36	47	48,4	Eu	14	33	44,4	Au
74	51	52,4	Eu	18	46	47,6	Eu	38	34	44,3	Au
37	52	52,9	Eu	41	44	41,8	Eu	6	17	26,3	Au
30	53	53,7	Eu	32	45	45,0	Eu	3	19	28,1	Au
58	53	54,3	Eu	43	42	53,5	NA	6	21	29,9	Au
14	43	45,1	Eu	55	44	54,4	NA	10	28	36,5	Au
41	49	50,3	Eu	11	30	40,6	NA	38	41	45,1	Au
9	44	46,1	Eu	42	50	59,7	NA	37	44	48,4	Au
6	42	44,7	Eu	37	40	48,9	NA	13	32	28,6	Is
12	45	46,0	Eu	30	38	44,3	NA	6	29	29,4	Sü
12	39	40,5	Eu								

Tabelle 1. MS-Prävalenzwerte und Breitengrade. Die MS-Prävalenzen und geographischen Breiten wurden der Literatur entnommen^{7,8}; die geomagnetischen Breiten wurden daraus berechnet.

lieren, wenn statt der geographischen die geomagnetische Breite zugrundegelegt wird. Das bestätigt den optischen Vergleich von Abbildung 1 und 2.

Neu ist die bessere Korrelation mit einer Gausskurve, d.h. einer nicht stetig ansteigenden Funktion. Abbildung 3 zeigt diese Kurve. Daneben sind die Prävalenzwerte selbst und deren arithmetische Mittel für Abschnitte von jeweils 10° eingezeichnet. Die gute Überein-

stimmung der Kurve mit den Mittelwerten wird erkennbar. Es wird auch deutlich, daß die MS-Häufigkeit in Polnähe wieder sinkt. Übrigens wird das Wiederabsinken der MS-Häufigkeit in sehr hohen Breiten auch von der amerikanischen Mortalitätsstatistik bestätigt. So betrug die altersberichtigte Sterbeziffer 1959 für Alaska 0,4/10⁵ Einwohner. Die Ziffern der 13 südlich an Kanada grenzenden US-Staaten, die sich ja weit südlicher

befinden, lagen dagegen zwischen 0,7 und 1,3/10⁵ Einwohner¹⁰.

Die gute Korrelation mit einer (symmetrischen) Gausskurve mit Maximum bei ca. 57° geomagnetischer Breite mag überraschen, da nicht ohne weiteres erkennbar ist, warum dort eine Symmetrieachse für die MS-Verteilung liegen soll. Es lag daher nahe, auch eine asymmetrische Gausskurve (bei gemeinsamem Maximum, aber sonst unterschiedlichen Parametern für

den rechten und linken Kurventeil) anzupassen. Dadurch liess sich aber keine wesentlich bessere Korrelation erreichen (Tabelle 2).

Analogien zwischen MS-Verteilung auf der Erde und geophysikalischen Grössen: Die Ergebnisse zeigen deutlich eine engere Beziehung der MS-Häufigkeit zur geomagnetischen als zur geographischen Breite (Abbildung 1 und 2, Tabelle 2). Diese Beziehung kann zufällig, d.h. ohne kausale Bedeutung sein. Eine kausale Bedeutung kann aber auch nicht von vornherein ausgeschlossen werden.

Geomagnetische Länge und Breite sind ein von Menschen geschaffenes Koordinatensystem, das sich aber am bestehenden Erdmagnetfeld orientiert. Dieses Feld zeigt zwar lokale Abweichungen, die von Unregelmässigkeiten der Erdkruste (z.B. Erzlagerstätten) ausgehen. In grösseren Höhen bei geringerem Einfluss der Erdoberfläche wird aber das tatsächliche Magnetfeld ziemlich genau durch das geomagnetische Koordinatensystem wiedergegeben.

Es ist also zu fragen, welche vom Erdmagnetfeld bestimmte geophysikalische Grössen bestehen, die in ihrer räumlichen Verteilung etwa der MS entsprechen. Damit soll nicht etwa schon suggeriert werden, dass eine kausale Beziehung zwischen MS und solchen Grössen besteht. Vielmehr sollen Analogien aufgezeigt werden, die Grundlage für weitere Diskussionen sein können, wobei die umfangreichen Erkenntnisse aller Geowissenschaften genutzt werden sollten. – Hier wird nur auf drei solcher Grössen kurz eingegangen (solare Teilchen-Strahlung, erdmagnetische Aktivität, äusserer Strahlungsgürtel der Erde).

Die *solare Teilchenstrahlung* ist zu unterscheiden von der galaktischen (also aus der Tiefe des Weltraums kommenden) Teilchenstrahlung.

Die galaktische Strahlung (Protonen und schwerere Kerne) hat

eine geringere Dichte (geringere Teilchenanzahl) als die solare. Die Energie der einzelnen Teilchen ist aber höher (bis 10^{11} GeV)¹¹. Vom Erdmagnetfeld können aber nur Teilchen mit Energien bis 15 GeV abgelenkt werden¹¹. Der grössere Anteil der galaktischen Teilchen erfährt so durch das Erdmagnetfeld keine wesentliche Ablenkung und dringt ungehindert auch zum Äquator vor. Eine geographische Verteilung, die der MS ähnelt, kann so nicht entstehen. Die solare Teilchenstrahlung (Protonen, Alpha-Teilchen u.a.) wird kontinuierlich von der Sonne ab-

gegeben (auch als „solarer Wind“ bezeichnet), erfährt aber im Verlauf des 11jährigen Sonnenzyklus starke Schwankungen. Bei ungestörter Sonnentätigkeit überwiegen Teilchenenergien unter 0,1 GeV¹¹. Diese Teilchen werden von der Erdatmosphäre absorbiert, dringen also nicht bis zur Erdoberfläche vor. Bei aktiver Sonne (bei solaren Eruptionen) treten aber Teilchen bis 10 GeV auf¹². Diese hochenergetischen solaren Teilchen können bis zur Erdoberfläche vordringen. Auf ihrem Weg werden sie vom Erdmagnetfeld zu den Polen hin abgelenkt. Die Ab-

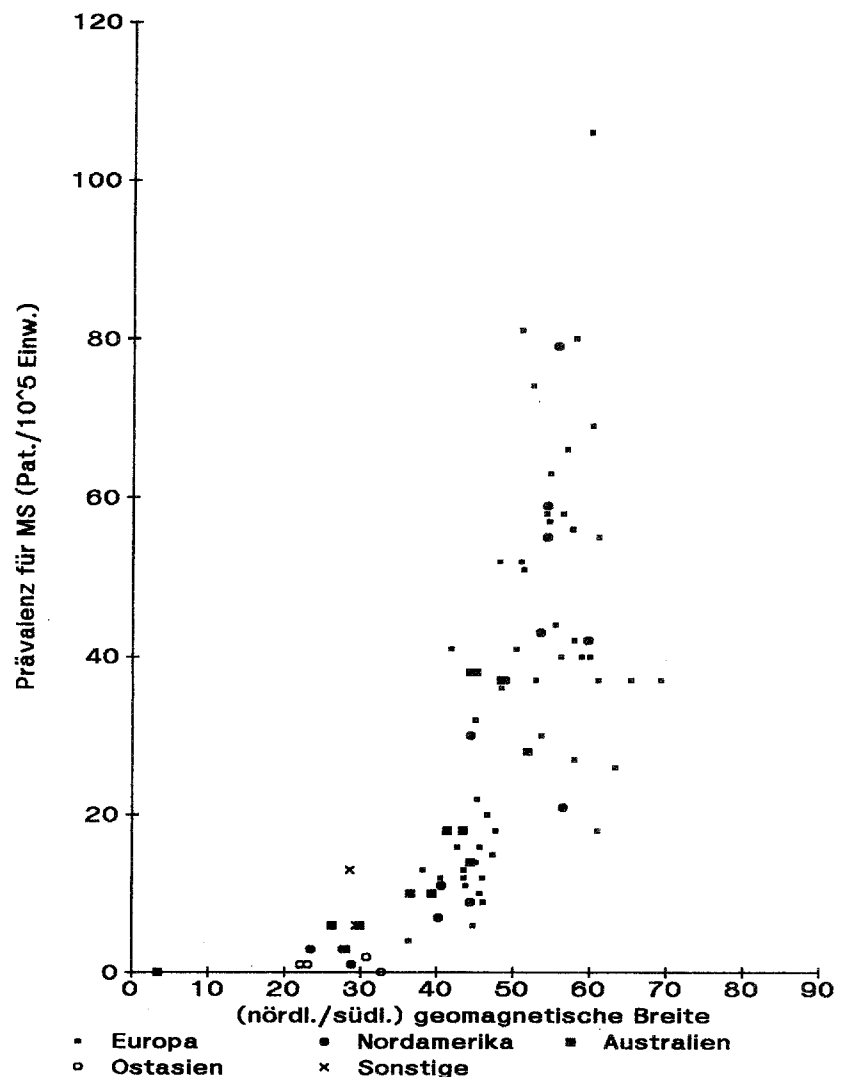


Abbildung 2. MS-Prävalenz und geomagnetische Breite.

Regressionskurve	Breite	a	b	c	d	Korrelationskoeffizienten	
						MS-Präv.	erdmagnet. Aktivität
Exponentialkurve $y = a \cdot x + b$	geogr.	1,06	10,70			0,56	
	geom.	1,06	7,19			0,63	0,64
Quadratische Kurve $y = a \cdot x^2 + b$	geogr.	0,0152	-1,40			0,63	
	geom.	0,0166	-8,19			0,71	0,74
Gerade $y = a \cdot x + b$	geogr.	1,251	-24,87			0,64	
	geom.	1,385	-34,52			0,70	0,67
symmetrische Gauss-Kurve &	geogr.	874	9,15	54,5	7,07	0,75 #	
	geom.	1023	4,28	56,8	8,13	0,80 ##	0,87 \$
asymmetrische Gauss-Kurve &&	geogr.			57,9		0,76	
	geom.			55,4		0,80	0,91 \$\$

& symmetr. Gauss-Kurve
 $(a \cdot \text{EXP}(-(((x-c)/d)^2)/2)/d \cdot \text{WURZEL}(44/7)) + b$
 && asymmetr. Gauss-Kurve (bei gemeinsamem Maximum)
 linker Teil: $(a1 \cdot \text{EXP}(-(((x-c)/d1)^2)/2)/d1 \cdot \text{WURZEL}(44/7)) + b1$
 rechter Teil: $(a2 \cdot \text{EXP}(-(((x-c)/d2)^2)/2)/d2 \cdot \text{WURZEL}(44/7)) + b2$
 (a1, b1, d1, a2, b2, d2 nicht ausgedruckt)

Mutungsbereich für p=99,9%: 0,59 – 0,91
 ## Mutungsbereich für p=99,9%: 0,66 – 0,93
 \$ Mutungsbereich für p=99,9%: 0,79 – 0,96
 \$\$ Mutungsbereich für p=99,9%: 0,84 – 0,97

Tabelle 2. Regressionskurven und Korrelationskoeffizienten (r) für die Beziehung zwischen MS-Prävalenz/erdmagnetischer Aktivität und geographischer/geomagnetischer Breite. Die Korrelationskoeffizienten wurden berechnet nach⁹ Formel 10–17. Die Größen a, b, c, d beziehen sich nur auf die Regressionskurven für die MS-Verteilung.

lenkung eines Teilchens ist stärker je geringer seine Energie ist (Breiteneffekt). So ist jeder geomagnetischen Breite eine Energie zuzuordnen, die ein Teilchen mindestens haben muss, um diese Breite noch erreichen zu können („Abschneideenergie“). Die Abschneideenergie beträgt für 45° z.B. 3,7 GeV, für 60° 0,9 GeV und für 75° 0,07 GeV^{11,13}.

Der steile Anstieg der MS-Häufigkeit liegt etwa bei 45° geomagnetischer Breite (vergl. Abbildung 2), der Abfall bei etwa 65°. Das entspricht einem Energiespektrum solarer Teilchen von etwa 4 GeV bis 0,4 GeV. Solare Teilchen von 4 GeV treten nur bei sehr starken solaren Eruptionen auf, in der Regel nur wenige Male während

eines 11jährigen Sonnenzyklus. Noch höhere Energien werden extrem selten beobachtet. Teilchen mit Energien unter 0,4 GeV (also oberhalb von 65°) können nicht mehr bis in Erdnähe vordringen. – Die MS-Verteilung entspricht also etwa dem Gebiet, in dem die solare Teilchenstrahlung Erdnähe erreicht.

Bei der *erdmagnetischen Aktivität* handelt es sich um Schwankungen der Stärke des Erdmagnetfeldes, die durch die solare Teilchenstrahlung verursacht werden¹⁴. Sie wird auf der Erdoberfläche gemessen. Sie ist stärker, je stärker die Sonnenaktivität ist.

Die erdmagnetische Aktivität wird in 3-Stunden-Intervallen als lokale Kennziffer K gemessen¹⁴. Es

handelt sich dabei um relative auf die lokale Feldstärke bezogene Werte, die daher keine Dimension haben. Zum globalen Vergleich müssen sie in absolute Werte (ak), gemessen in Gamma, umgerechnet werden. Aus diesen absoluten 3-Stunden-Werten lassen sich dann Durchschnittswerte für Tage, Monate und Jahre (Ak) berechnen¹⁴.

Im Rahmen des Geophysikalischen Jahres wurden die in 3-Stunden-Intervallen gemessenen Kennziffern K für das Jahr 1959 veröffentlicht¹⁵. Für unsere Zwecke wurden nur die Werte von den 90 kontinuierlich messenden Stationen berücksichtigt. Um eventuelle jahreszeitliche Schwankungen zu minimieren, wurden für jede Sta-

tion die Tagesmittel für 4 Tage (15. März, 15. Juni, 15. Sept., 15. Dez.) berechnet und davon wieder die Mittelwerte bestimmt. – Es zeigt sich, dass die Tagesmittel dieser 4 Tage grosse quantitative Unterschiede zeigen. Die hier vor allem interessierende geographische Verteilung variiert aber wenig.

In der Abbildung 4 sind die so erhaltenen Werte in Abhängigkeit von der geomagnetischen Breite dargestellt. Wie bei der MS-Prävalenz wurden Regressionsanalysen mit verschiedenen Funktionen durchgeführt. Die dabei erreichbaren Korrelationskoeffizienten sind ebenfalls in Tabelle 2 aufgelistet. Die hohen Werte sind zunächst nicht erstaunlich, da sich die der erdmagnetischen Aktivität zugrundeliegende Strahlung am Erdmagnetfeld und damit an der geomagnetischen Breite orientiert. Besonders bemerkenswert ist aber, dass – ähnlich wie bei der MS-Verteilung – die deutlich beste Korrelation mit Gausskurven besteht (Tabelle 2, Abbildung 4). Wie bei der MS wird ein Abfall in Polnähe erkennbar. Die in Polnähe gelangenden energieärmeren Teilchen beeinflussen das Magnetfeld demnach wieder in geringerem Umfang.

Die Werte der erdmagnetischen Aktivität verhalten sich also sehr ähnlich wie die MS-Verteilung in Bezug auf das sehr niedrige Niveau in Äquatornähe, den raschen Anstieg in mittleren geomagnetischen Breiten sowie den wieder erfolgenden Abfall in Polnähe. Es fällt auf, dass das Maximum der symmetrischen Gausskurve für die erdmagnetische Aktivität etwa 15° polnäher liegt als das der Gausskurve für die MS-Werte. Darin kommt zunächst zum Ausdruck, dass zur erdmagnetischen Aktivität auch der energieärmere Anteil der Strahlung (Teilchen unter 0,4 GeV) beiträgt, der nicht in Erdnähe gelangt. Abbildung 4 zeigt aber auch, dass mit einer asymmetrischen Gausskurve (bei

gemeinsamem Hochpunkt und gemeinsamer Grundlinie) eine noch bessere Korrelation zu erhalten ist. Dann verschiebt sich auch das Maximum in Richtung Äquator und nähert sich so dem Maximum der MS-Kurve an.

Im übrigen sollte die Abweichung der Maxima für MS-Häufigkeit und erdmagnetische Aktivität nicht überbetont werden. Es ist bekannt, dass sich das Maximum der erdmagnetischen Aktivität bei aktiver Sonne in Richtung Äquator verschiebt, also der MS-Kurve an-

nähert (Polarlicht in gemässigten Breiten bei starker Sonnenaktivität).

Die Strahlungsgürtel der Erde (auch „Van-Allen-Gürtel“) sind stabile Zonen mit höherer Dichte geladener Teilchen (vor allem Protonen und Elektronen) in grosser Höhe¹⁶. – Der hier besonders interessierende äussere Strahlungsgürtel wird von der solaren Teilchenstrahlung gespeist. Seine Dichte schwankt daher im Verlaufe eines Sonnenzyklus etwa um den Faktor 10¹³.

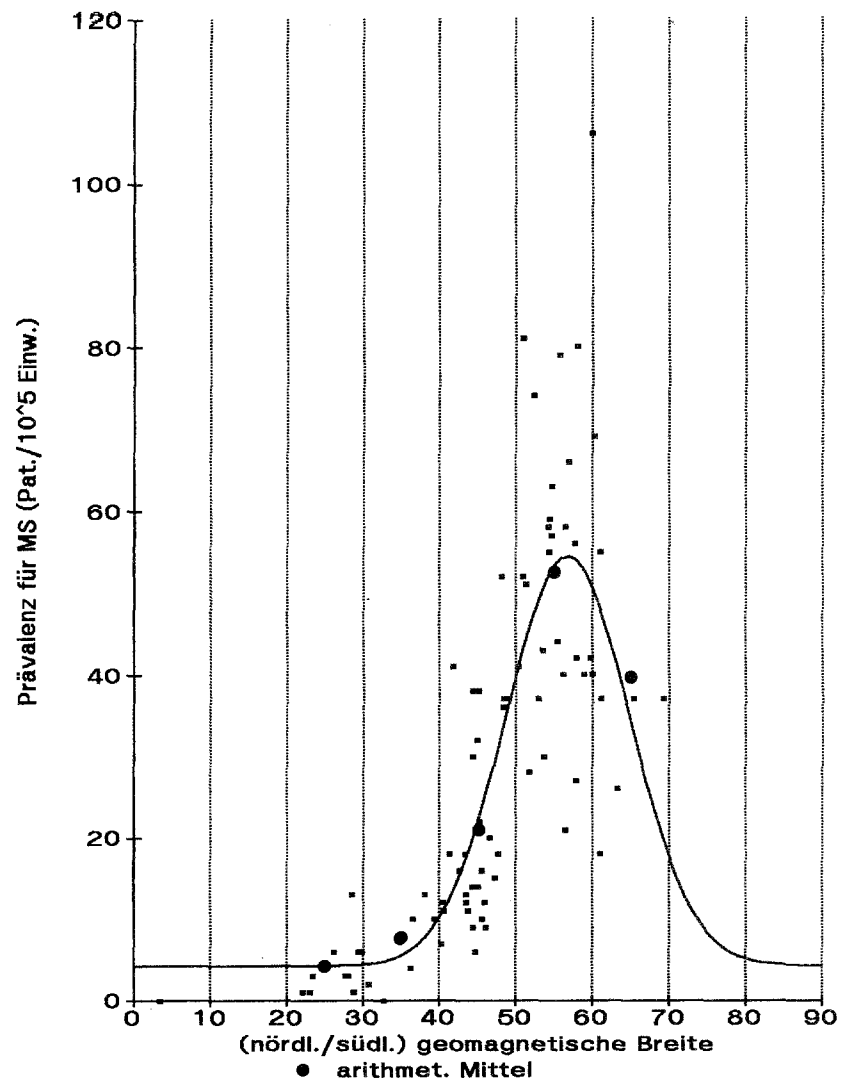


Abbildung 3. Einzelwerte und Gauss-Funktion als Regressionskurve für die MS-Prävalenz ($r=0,80$); die arithmetischen Mittel beziehen sich auf Abschnitte von jeweils 10°.

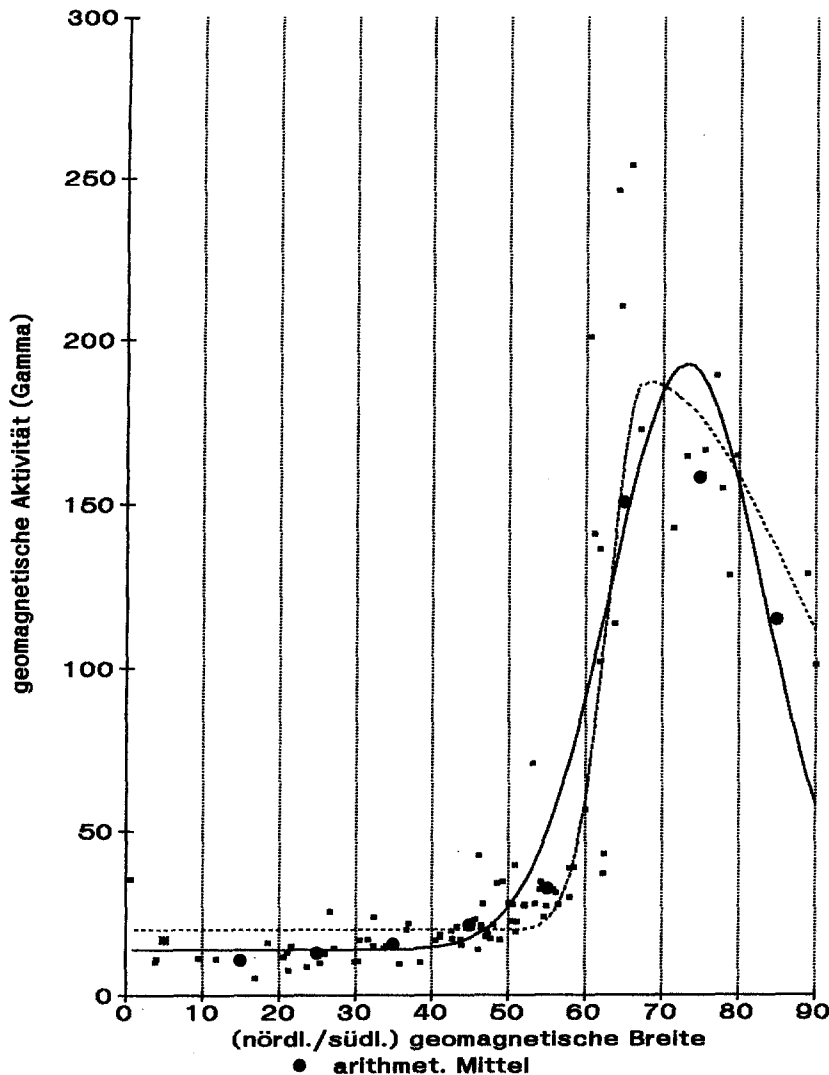


Abbildung 4. Einzelwerte und Gauss-Funktionen als Regressionskurven der erdmagnetischen Aktivität (symmetr. Gausskurve: $r=0,87$; asymmetr. Gausskurve: $r=0,91$); die arithmetischen Mittel beziehen sich auf Abschnitte von jeweils 10° .

Der äussere Strahlungsgürtel ist von der Form her vergleichbar einem pneumatischen Autoreifen, der die Erde als „Felge“ benutzt, wobei die magnetische Erdachse der „Radachse“ entspricht. Im Querschnitt entsteht so ein torusartiges Gebilde (Abbildung 5), das in der Äquatorebene mehrere Erdradien von der Erdoberfläche entfernt ist und dessen Ausläufer sich zangenförmig bei etwa 58° geomagnetischer Breite der Erdober-

fläche nähern (Kontakt zwischen „Reifen“ und „Felge“).

Der Vergleich der Abbildungen 3 und 5 zeigt, dass sich die Ausläufer des äusseren Strahlungsgürtels ziemlich genau dort der Erdoberfläche nähern, wo sich das Maximum der MS-Häufigkeit befindet (bei ca. 57° geomagnetischer Breite). Im Bereich dieser Ausläufer dringen auch Teilchen aus dem Strahlungsgürtel bis zur Erdoberfläche vor.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen nicht nur eine engere Beziehung der MS-Verteilung zur geomagnetischen als zur geographischen Breite. Es werden auch klare räumliche Beziehungen der MS-Verteilung zu ausgewählten von der geomagnetischen Breite abhängigen Grössen erkennbar. Es ist aber davor zu warnen, diese objektiv nachweisbaren räumlichen Beziehungen vorschnell in allzu vage Kausalitätstheorien umzusetzen. Im Rahmen dieser Arbeit ist es auch nicht möglich, die umfangreichen Erkenntnisse der Geowissenschaften (Geophysik, Geochemie, Geobiologie u. a.) für eine Erörterung in vollem Umfang nutzbar zu machen. Hier sind in erster Linie deren Vertreter gefordert, Diskussionsbeiträge zu leisten. Dabei können auch weitere Grössen in die Betrachtung einbezogen werden.

Die Frage, ob die rechnerisch eindeutig engere Beziehung der MS-Verteilung zur geomagnetischen Breite (im Vergleich zur geographischen) nun zufällig ist oder ob es sich dabei um einen Hinweis auf die Ätiologie handelt, kann aber auch noch auf epidemiologischem Wege weiterbearbeitet werden. – Die oben angeführten geophysikalischen Grössen (solare Teilchenstrahlung, erdmagnetische Aktivität, äusserer Strahlungsgürtel) zeigen sehr eindeutige messbare Beziehungen zum 11jährigen Sonnen(flecken)zyklus. Diese Grössen schwanken durchweg mit der Sonnenfleckenzahl im 11-Jahresrhythmus. Hätte eine oder mehrere dieser Grössen eine kausale Bedeutung für die MS, würde auch dieser kausale Einfluss im 11-Jahresrhythmus schwanken.

Auf diesem Hintergrund sind weitere Erkenntnisse der MS-Epidemiologie von Bedeutung. Es konnte nämlich gezeigt werden, dass Bevölkerungsgruppen, die zwischen Gebieten mit unter-

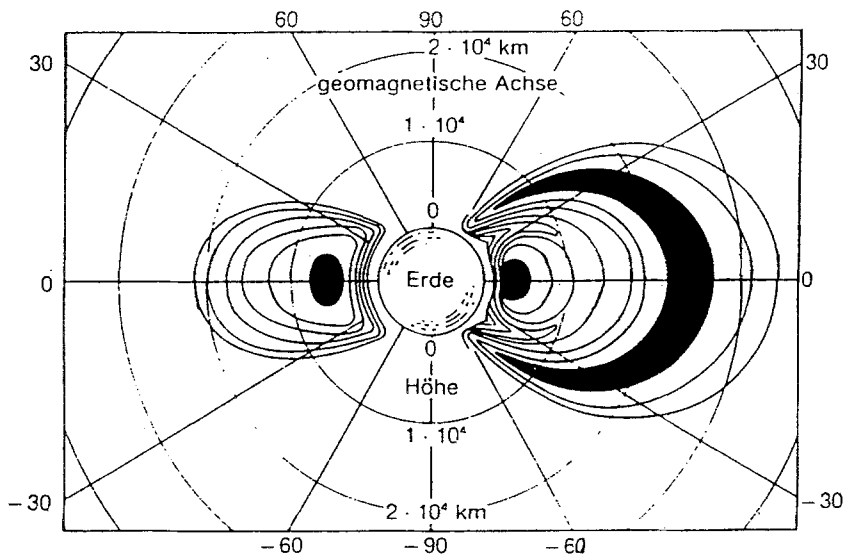


Abbildung 5. Äusserer und innerer Strahlungsgürtel der Erde; der äussere Gürtel ist hier aufgrund der Komprimierung des Erdmagnetfeldes durch den Sonnenwind nur auf der Nachtseite ausgeprägt (Abb. aus Meyers Handbuch Weltall 1984, S. 425). Die aussenstehenden Zahlen geben die geomagnetische Breite an.

schiedlichem MS-Risiko gewandert sind, das Risiko ihres Ursprungslandes beibehielten^{2,4}. So zeigten z. B. die verschiedenen Einwanderergruppen in Israel eine MS-Häufigkeit wie in ihren Herkunftsländern (die von Nordeuropa bis zum Jemen reichen). Das gilt aber nur dann, wenn die Einwanderung nach dem 15. Lebensjahr erfolgte. Die bereits im Kindesalter Eingewanderten nahmen dagegen das Risiko des Gastlandes an. Diese Erkenntnisse wurden auch in anderen Gebieten bestätigt (Südafrika, Hawaii u. a.). – Aufgrund dieser Wanderungseffekte ist zu schliessen, dass nicht der Aufenthaltsort kurz vor Ausbruch der Krankheit entscheidend ist, wie das etwa für die meisten Infektionen die Regel ist. Vielmehr liegt die kritische Exposition offensichtlich um die Pubertät herum, obwohl die klinische Erkrankung oft erst Jahrzehnte später auftritt. Vermutlich ist hier der Abschluss der Gehirnentwicklung in der Pubertät von Bedeutung.

Es ist demnach davon auszugehen, dass die für die MS verantwortlichen Einflüsse auf wenige Pubertätsjahre beschränkt sind. Wenn hierbei die vom 11jährigen Sonnenzyklus abhängigen Grössen eine wesentliche Rolle spielen sollten, dann wäre zu erwarten, dass Geburtsjahrgänge, deren Pubertät mit einem Maximum des Sonnenzyklus zusammenfällt, ein anderes (vermutlich höheres) MS-Risiko haben als Jahrgänge, deren Pubertät in ein Minimum fällt. Das müsste dazu führen, dass die MS-Häufigkeit aufeinanderfolgender Geburtsjahrgänge ebenfalls im 11-Jahresrhythmus schwankt. – Um das prüfen zu können, sind sehr grosse Patientenzahlen erforderlich. – Über die Ergebnisse einer entsprechenden Untersuchung auf der Grundlage von ca. 12000 Sterbefällen mit MS-Diagnose soll in einer späteren Arbeit berichtet werden.

Summary

Geographic distribution of Multiple Sklerosis and its relation to geophysical values

This work is based on former investigations describing the similarity between the distribution of MS-frequency and solar particle rays. The analysis of the prevalence values shows clearly that the global MS-frequency is closer related to the geomagnetic than to the geographic latitude. This relation is best described by a Gaussian curve: in temperate latitudes the MS-frequency increases rapidly in pole direction and decreases again in pole-proximity. The MS-distribution shows a spatial relation to the distribution of solar particle rays and geomagnetic activity and to the external radiation belt of the earth. Further considerations are being made including the 11-year-sun-cycle.

Résumé

La répartition géographique de Sclérose en plaque et comparaison de valeurs géophysiques

D'anciennes recherches qui ont décrit les caractères communs concernant la répartition de la fréquence de la Sclérose en plaque et de la radiation des corpuscules solaires sont à la base de cette étude. L'analyse des taux de prévalence révèle que le rapport de la progression globale de la Sclérose en plaque par rapport au degré géomagnétique est plus étroit que par rapport au degré géographique. La Courbe de Gauss illustre le mieux ce rapport, c. a. d. que la fréquence de la Sclérose en plaque évolue plus rapidement en direction des régions polaires et s'atténue à proximité de celles-ci. La répartition de la Sclérose en plaque montre un rapport d'espace par rapport à la radiation des corpuscules solaires et de l'activité magnétique de la terre ainsi que par rapport à la ceinture de radiations de la couche externe de la terre. D'autres approches qui prennent en considération le cycle solaire de la durée de 11 ans seront abordées.

Literaturverzeichnis

- 1 *Bauer HJ*. Multiple Sklerose, Ursachenforschung und Therapie. *Münch Med Wschr* 1982; 124: 69–70.
- 2 *Frick E*. Multiple Sklerose. Praktische Neurologie, Band 3, Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft, 1987.
- 3 *Resch J*. Die Multiple Sklerose als Mortalitätsdiagnose in der Bundesrepublik Deutschland. *Fortschr Neurol Psychiatr* 1982; 50: 52–63.
- 4 *Ritter G, Poser S*. Epidemiologie der Multiplen Sklerose. *Aktuel Neurol* 1982; 9: 161–164.
- 5 *Barlow JS*. Correlation of the distribution of multiple sclerosis with cosmic-ray intensities. *Acta Psychiatr Scand* 1960; 35(Suppl, 147): 108–131.
- 6 *Barlow JS*. Solar-flare induced increases in sea-level cosmic ray intensities and other geophysical phenomena in relation to multiple sclerosis. *Acta Neurol Scand* 1966; 42(Suppl, 19): 118–136.
- 7 *Kurtzke JF*. A reassessment of the distribution of multiple sclerosis. *Acta Neurol Scand* 1975; 51: 110–160.
- 8 *Kurtzke JF*. Geographic distribution of multiple sclerosis: An update with special reference to Europa and the Mediteranean region. *Acta Neurol Scand* 1980; 62: 65–80.
- 9 *Schönwiese CD*. Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1985
- 10 *Kurtzke JF, Kurland LT, Goldberg ID*. Mortality and Migration in Multiple Sclerosis. *Neurology* 1971; 21: 1186–1197.
- 11 *Allkofer OC, Andresen RD, Bagge E, Dau WD, Funk H*. Der Einfluss des Erdmagnetfeldes auf die kosmische Strahlung. I. Untersuchungen der Nukleonenkomponente der kosmischen Strahlung während der Atlantischen Expedition IQSY 1965 auf dem Forschungsschiff „Meteor“. „Meteor“ Forschungsergebnisse, Reihe B (Meteorologie und Aeronomie). No. 3; Berlin: Gebrüder Bornträger, 1969: 48–79.
- 12 *Scheffler H, Elsässer H*. Physik der Sterne und der Sonne. Mannheim: BI Wissenschaftsverlag, 1990.
- 13 *Allkofer OC*. Introduction to cosmic radiation. Buchreihe der Atomenergie; Band 10. München: Thiemig, 1975.
- 14 *Siebert M*. Masszahlen der erdmagnetischen Aktivität. Handbuch der Physik, Vol. XLIX/3. Berlin: Springer, 1971: 206–275.
- 15 *Bartels J, Romana A, Veldkamp J*. Geomagnetic data 1959; indices K and C. IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomie) Bulletin 1963; No. 12 n 1.
- 16 *Hess WN*. The Earth's Radiation Belt. Handbuch der Physik, Vol. XLIX/4. Berlin: Springer, 1974: 115–229.

Danksagung

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Diplomphysiker Alvo von Alvensleben, Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik, Freiburg, und Herrn Prof. Manfred Siebert, Institut für Geophysik der Universität Göttingen, für eingehende Beratung und viele nützliche Hinweise.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Johannes Resch
 Arzt für Neurologie und Psychiatrie
 Wernher-von-Braun-Str. 7
 D-76751 Jockgrim