

# Parameter des roten Blutbildes bei Exposition durch Mobilfunkanlagen

## Mitteilung der Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“

### 1 Einleitung

Mögliche Gesundheitsschäden durch elektromagnetische Felder (EMF), insbesondere durch die des Mobilfunks, sind nach wie vor in der wissenschaftlichen und öffentlichen Diskussion.

In diesem Zusammenhang erlangen mögliche Effekte auf das rote Blutbild (Retikulozytenzahl und Geldrollenbildung) hohe Aufmerksamkeit, da von der „Laienöffentlichkeit“ Veränderungen der Blutzellen als sehr bedenklich und stets als „Krankheit“ angesehen werden.

Aus dem bisher Gesagten erklärt sich das hohe Interesse an Untersuchungen, die sich mit möglichen Auswirkungen der EMF-Exposition auf das Blut und dessen Bestandteile befassen. In diesem Zusammenhang gelangte die Untersuchung eines niedergelassenen Arztes zu einiger Bekanntheit [1], da diese angeblich erhebliche Auswirkungen von schwacher EMF-Exposition auf die Anzahl der Retikulozyten im peripheren Blut und den Hämoglobingehalt der Erythrozyten (MCHC) gezeigt hat. Die Studie entspricht nicht den üblichen wissenschaftlichen Standards:

- Es werden statistisch nicht signifikante Ergebnisse der Retikulozytenzahlen als „signifikante Effekte“ bezeichnet. Die Mittelwerte vor und nach Exposition (0,87% bzw. 0,897%) sind jedoch statistisch nicht verschieden.

- Es fehlen Messwerte der Feldstärken und Angaben zu Zeitspannen zwischen Exposition und Blutentnahme, so dass eine Quantifizierung der „Mobilfunkbelastung“ fehlt.
- Die statistischen Berechnungen sind an vielen Stellen unvollständig bzw. fehlerhaft.

Weitere Anmerkungen zu methodischen Aspekten dieser Arbeit sind veröffentlicht worden [2]. „Geldrollenbildung“ ist ein weiteres, teilweise mit Live-Vorfürungen in der Öffentlichkeit demonstriertes Phänomen („Vitalblut-Diagnostik“), das im Zusammenhang mit Mobilfunk aufgegriffen und als brisant angesehen wird [3].

Die RKI-Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ nimmt im Folgenden zum diagnostischen Wert der Bestimmung der Anzahl der Retikulozyten im peripheren Blut und zum Phänomen der Geldrollenbildung im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern Stellung.

### 2 Retikulozyten

Retikulozyten entstehen im Knochenmark aus orthochromen Erythroblasten und sind die Vorstufe der Erythrozyten. Sie enthalten während ihrer etwa viertägigen Reifungsphase im Unterschied zu den reifen Erythrozyten noch RNA und Organellen. Ihre Ribosomen sind netzartig

miteinander verbunden und geben den Retikulozyten ihren Namen. Der Anteil der Retikulozyten liegt bei Erwachsenen zwischen 0,5 und 2% der Erythrozyten, bei Neugeborenen deutlich höher bei 0,6–6% (Normwerte). Für Männer und Frauen werden unterschiedliche Referenzbereiche angegeben. Bei pathologischen Störungen der Erythropoese, nach Erythropoietingabe (Doping) und in Folge einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung kann die Anzahl erhöht oder erniedrigt sein. Die Messung der Anzahl der Retikulozyten ist allein nicht ausreichend, um pathologische Veränderungen der Hämatopoese zu diagnostizieren. Zumindest müssen gleichzeitig der Hämoglobingehalt der Retikulozyten, die Anzahl der Erythrozyten und der Hämatokrit bestimmt werden [4].

### 3 Die Bestimmung der Retikulozytenzahl

Retikulozyten werden durch RNA-spezifische Farbstoffe (z. B. durch Brillant-Kresylblau) angefärbt und anschließend mikroskopisch gezählt oder heute in der Regel automatisch mittels Durchflusszytometer und Laser-Streulicht bestimmt. Der Variationskoeffizient der mikroskopischen Auszählung beträgt 17–54% [5]. Die automatisierten Verfahren zeichnen sich gegenüber der manuellen Methode durch eine deutlich geringere Streuung aus. Dies ist u. a. durch die Objektivierung der Messung und die

größere Anzahl analysierter Zellen (oft 10.000 Zellen gegenüber 1000) bedingt. Aufgrund der Intensität der Fluoreszenz, die dem RNA-Gehalt proportional ist, können die Retikulozyten klassifiziert und weitere Indizes dieses Zelltyps bestimmt werden (z. B. Volumen (MCVr), Hämoglobin-Gehalt (CHr) und -Konzentration (CHCMr)) [6]. Es ist viel Erfahrung notwendig, um Retikulozyten richtig zu bestimmen und die Befunde zu bewerten.

Die Anzahl der Retikulozyten kann physiologisch schwanken, ohne dass dies ein Hinweis auf eine Erkrankung sein muss. Selbst Blutproben ein und derselben Person sind hinsichtlich der Anzahl der Retikulozyten in bedeutendem Umfang variabel [7, 8]. Der Inter-Personen-Variationskoeffizient liegt bei automatisierten Verfahren bei 26 bis 33%, der Intra-Personen-Koeffizient bei etwa 11%. Die Zellindizes der Retikulozyten hingegen schwanken wesentlich weniger mit Inter-Personen-Variationen von unter 5% [8].

### 4 Geldrollenbildung

Als „Geldrollenbildung“, auch Rouleau-Bildung oder Pseudoagglutination (engl. red blood cell aggregation, blood sludge oder pearl chains, rouleaux formation) genannt, wird die perlschnurartige Aneinanderreihung von Erythrozyten bezeichnet. Sie wird durch Adhäsionskräfte zwischen Erythrozyten verursacht, ist an der Regulierung der Druckverhältnisse in Venolen beteiligt [9] und kann bei Doppleruntersuchungen ein Hintergrundrauschen verursachen [10, 11]. Sie ist normalerweise reversibel. Verschiedene Faktoren können die Rollenbildung beeinflussen wie Alter, Dehydrierung, Fließgeschwindigkeit, Hypoxie, Blutfettgehalte, Gerinnungsstatus und Arzneimittel [12, 13, 14, 15, 16] und modulieren damit die Fließeigenschaften des Blutes.

Die Tendenz zur Geldrollenbildung wird an frisch entnommenem Blut untersucht [17]. Die klassische Methodik ist die mikroskopische Auswertung. Sie hat den Vorteil, dass die Ergebnisse direkt sichtbar sind, und den Nachteil, dass sie im Vergleich zu neuen Methoden wie

der Laser-Refraktometrie [18] weniger objektiv ist. Da die Geldrollenbildung an frischem Blut durch Temperatur, Inkubationsmedium, mechanische Einflüsse und andere Faktoren beeinflusst wird, muss in jedem Fall ein hoher Grad an Qualitätssichernden Maßnahmen und Standardisierung eingehalten werden. Gerade Untersuchungen, bei denen geringfügige Veränderungen noch erfasst werden sollen, bedürfen stringenter Standardisierung, um Artefakte und Fehlinterpretationen zu vermeiden [19]. Dies ist bei Felduntersuchungen oft nicht gegeben [20].

### 5 Bewertung und Empfehlung

Anders als für Effekte ionisierender Strahlung [7], deren Wirkungen auf das blutbildende System von erheblicher pathologischer und diagnostischer Bedeutung sind, ist die Bestimmung der Retikulozytenzahl zum Nachweis von Effekten infolge Einwirkung EMF nicht geeignet. Es liegen bislang keine wissenschaftlichen Studien vor, die einen Einfluss schwacher EMF der Mobilfunktechnologie auf Retikulozyten und Erythrozyten nachweisen und die anhand valider und reliabler Messverfahren das Phänomen der Geldrollenbildung auf EMF-Einfluss zurückführen könnten. Dies gilt sowohl für Basisstationen, deren Feldstärken im Aufenthaltsbereich der Bevölkerung so gering sind, dass sie keine thermischen Effekte verursachen, als auch für Endgeräte, deren Gebrauch lokal begrenzte Erwärmungen nach sich ziehen können. Davon abgesehen ist die alleinige Bestimmung der Anzahl der Retikulozyten aufgrund der hohen Streuung als Messgröße ungeeignet. Insgesamt ist die Bestimmung von Retikulozyten und/oder Geldrollenbildung als biologischer Marker für eine Mobilfunkbelastung allein schon wegen der hohen intra- und interindividuellen Variabilität nicht geeignet.

### 6 Einstufung

Die Bestimmung der Retikulozyten im peripheren Blut oder von Geldrollenbildung wird sowohl im Hinblick auf die umweltmedizinische Einzelfall-

Diagnostik als auch im Kontext von Gruppenuntersuchungen in die Kategorie IV eingestuft [21]: Die Bestimmungen können für den klinisch-umweltmedizinischen Bereich nicht empfohlen werden, da die Messergebnisse keine sinnvollen Aussagen oder Rückschlüsse auf biologische Wirkungen von EMF erlauben. Die seitens der Befürworter solcher Untersuchungen postulierten Gründe für die Indikation von Reihenuntersuchungen bei Mobilfunk-Exponierten sind spekulativ und basieren nicht auf einem validierten diagnostischen Ansatz.

### Federführung

Prof. Dr. A. Lerchl (externer Sachverständiger, International University Bremen (IUB), School of Engineering and Science, Research II, Campus Ring 6, 28759 Bremen)

Dr. med. B. Heinzow (Mitglied der Kommission, Landesamt für Gesundheit und Arbeitssicherheit des Landes Schleswig-Holstein, Dezernat 50, Umweltbezogener Gesundheitsschutz, Brunswickerstr. 4, 24105 Kiel)

### Weitere von der Kommission hinzugezogene externe Sachverständige

Dr. S. Heller (St. Gertrauden Krankenhaus, Zentrallabor, Paretzer Str. 11–2, 10713 Berlin)

Prof. Dr. med. R. Averdunk, Herzzentrum Berlin, Labor, 13353 Berlin)

### RKI-Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“

#### Mitglieder

#### Kommissionsmitglieder

Prof. Dr. rer. nat. W. Dott (Universitätsklinikum Aachen, Institut für Hygiene und Umweltmedizin), Prof. Dr. med. H. Drexler (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin), Prof. Dr. med. H. Dunkelberg (Universität Göttingen, Abt. Allg. Hygiene und Umweltmedizin), Prof. Dr. med. Th. Eikmann (Universität Gießen, Institut für Hygiene und Umweltmedizin), Dr. med.

B. Heinzow (Landesamt für Gesundheit und Arbeitssicherheit des Landes Schleswig-Holstein, Dezernat Umweltbezogener Gesundheitsschutz, Kiel), Prof. Dr. C. Hornberg (Universität Bielefeld, Fakultät für Gesundheitswissenschaften), Institut für Innenraum- und Umwelttoxikologie), Prof. Dr. med. K. E. von Mühlendahl (Kinderhospital Osnabrück, Gemeinnützige Kinderumwelt GmbH), Prof. Dr. med. D. Nowak (LMU München, Klinikum Innenstadt, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin), PD Dr. med. F.-A. Pitten (Institut für Krankenhaushygiene und Infektionskontrolle GbR, Gießen), Dr. med. W. Stück (Ökologischer Ärztebund/ISDE, Koblenz), Prof. Dr. M. Schwenk (Tübingen), Dr. med. R. Suchenwirth (Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Abt. Umweltmedizin/Epidemiologie, Hannover; zz. Ministerium für Soziales, Frauen, Familie und Gesundheit, Hannover), Prof. Dr. med. M. Wilhelm (Ruhr-Universität Bochum, Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin).

### Ständige Gäste

S. Strecker (Bundesministerium für Gesundheit, Bonn), Dr. med. N. Englert (Umweltbundesamt, Berlin)

### Geschäftsstelle im RKI

Dr. med. D. Eis (Geschäftsführer),  
Dr. med. U. Wolf.

### Literatur

- German P (2004) „Einfluss der Mobilfunkbelastung auf die Retikulozytenreifung – Vorläufige Bewertung anhand von 1000 Analysen“. Die Studie war ursprünglich abrufbar unter <http://www.die-umwelt-akademie.de/veranstaltungen/T54c.html>, ist aber inzwischen vom Server genommen worden. Eine weitere Quelle ist [http://www.buergerwelle.de/pdf/einfluss\\_mobilfunk\\_auf\\_retikulozyten\\_juli04.doc](http://www.buergerwelle.de/pdf/einfluss_mobilfunk_auf_retikulozyten_juli04.doc)
- Lerchl A (2005) Blutuntersuchungen in der EMF-Forschung: Dichtung und Wahrheit. FGF newsletter 2/2004. [www.fgf.de/fup/themen/inhalte-themenforum/NL\\_03-04/Blutuntersuchungen\\_in\\_der\\_EMF\\_Forschung\\_03-04d.pdf](http://www.fgf.de/fup/themen/inhalte-themenforum/NL_03-04/Blutuntersuchungen_in_der_EMF_Forschung_03-04d.pdf)
- Ritter M, Wolski W (2005) Geldrollenbildung durch Handstrahlung, Jugend Forscht. [http://www.milieuzeitung.de/Rapporten/20050325\\_Geldrollenbildung\\_durch\\_Handstrahlung.pdf](http://www.milieuzeitung.de/Rapporten/20050325_Geldrollenbildung_durch_Handstrahlung.pdf)
- Brugnara C (1998) Use of reticulocyte cellular indices in the diagnosis and treatment of hematological disorders. *Int J Clin Lab Res* 28: 1–11
- Deiss A, Kurth D (1970) Circulating reticulocytes in normal adults as determined by the new methylene blue method. *Am J Clin Pathol* 53: 481–484
- Siekmeier R, Bierlich A, Jaross W (2000) Determination of reticulocytes: three methods compared. *Clin Chem Lab Med* 38: 245–249
- Möning H, Pohlit W, Sattler EL (1993) Biologische Dosimetrie. Zivilschutzforschung, Schriftenreihe der Schutzkommission beim Bundesminister des Inneren Bd. 12, Hrsg. Bundesamt für Zivilschutz
- Sandberg S, Rustad P, Johannesen B, Stolsnes B (1998) Within-subject biological variation of reticulocytes and reticulocyte-derived parameters. *Eur J Haematol* 61: 42–48
- Kim S, Popel AS, Intaglietta M, Johnson PC (2005) Aggregate formation of erythrocytes in postcapillary venules. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 288: H584–590
- Black IW (2000) Spontaneous echo contrast: where there's smoke there's fire. *Echocardiography* 17: 373–382
- Welsh AW, Rubin J, Fowlkes J, Fisk N (2005) Standardization of power Doppler quantification of blood flow in the human fetus using the aorta and inferior vena cava. *Ultrasound Obstetrics Gynecology* 26: 33–43
- Cokelet GR, Goldsmith HL (1991) Decreased hydrodynamic resistance in the two-phase flow of blood through small vertical tubes at low flow rates. *Circ Res* 68: 1–17
- Cicha I, Suzuki Y, Tateishi N, Maeda N (2003) Changes of RBC aggregation in oxygenation-deoxygenation. pH dependency and cell morphology. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 284: 2335–2342
- Cicha I, Suzuki Y, Tateishi N, Maeda N (2004) Effects of dietary triglycerides in rheological properties of human red blood cells. *Clin Hemorheol Microcirc* 30: 301–305
- Ben-Ami R, Barshtein G, Zeltser D et al. (2001) Parameters of red blood cell aggregation as correlates of the inflammatory state. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 280: 1982–1988
- Muravyov AV, Yakusevich VV, Kabanov AV, Petrochenko AS (2005) The effect of diuretics on red blood cell microrheological parameters in female hypertensive patients. *Clin Hemorheol Microcirc* 33: 121–126
- Rampling MW, Whittingstall P (1986) A comparison of five methods for estimating red cell aggregation. *Klin Wochenschr* 64: 1084–1088
- Hardeman MR, Dobbe JG, Ince C (2001) The laser-assisted rotational cell analyzer (LORCA) as red blood cell aggregometer. *Clin Hemorheol Microcirc* 25: 1–11
- Löffler H, Rastetter J, Haferlach T (2004) Atlas der klinischen Hämatologie, 6. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo
- Gollnick F, Conrad G (2000) Geldrollenbildung im Blut verursacht durch Mobilfunkfelder. FGF newsletter 1: 4–7. [http://www.fgf.de/fup/publikat/news\\_einzel/NL\\_00-01/Geldrollenbildung-Mobilfunk-NL01\\_00d.pdf](http://www.fgf.de/fup/publikat/news_einzel/NL_00-01/Geldrollenbildung-Mobilfunk-NL01_00d.pdf)
- RKI (2001) Grundsätze der Bewertung von umweltmedizinischen Methoden. Mitteilung der Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitschutz 44: 519–522