Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Basel ; Naturforschende Gesellschaft Baselland

Band: 16 (2016)

Artikel: Die Bedeutung der endogenen elektrodynamischen Felder der Zellen : eine kurze Review

Autor: Fels, Daniel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-676540

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Bedeutung der endogenen elektrodynamischen Felder der Zellen: Eine kurze Review

Daniel Fels

Zusammenfassung: Zellen sind gefüllt mit elektrisch geladenen Ionen und Molekülen. Diese erzeugen elektrostatische Felder und falls oszillierend, auch elektromagnetische. Auf der Basis mehrheitlich rezenter Studien wird die Hypothese vorgestellt, dass die elektrostatischen und -magnetischen Felder auf die Zellen – im Sinne einer reziproken Kausalität – zurückwirken und dabei die Lebensprozesse mitgestalten.

Abstract: The significance of endogenous electromagnetic fields of the cells: A short review. Cells are filled with electrically charged ions and molecules. They generate electrostatic, and if oscillating, electromagnetic fields as well. Based on mostly recent studies we present here the hypothesis that these electrostatic and electromagnetic fields feed back on cells. With this reciprocal causality the fields play an active role in life processes.

Key words: Life processes, electrostatic fields, electromagnetic fields

Einleitung

Die elektromagnetische Welt der Zellen ist ein Faktum. Man denke dabei nur an bioluminescente Bakterien, Membranpotentiale oder elektrische Ströme, die in Nervenzellen fliessen. Doch können wir heute zeigen, dass dies erst einen kleinen Teil der gesamten Wirkungen aller elektromagnetischen Felder der Zellen beschreibt.

Zellen haben Ionen und polare Moleküle, oszillierende Strukturen (wie die Zellmembran oder das Cytoskelett) sowie chemische Reaktionen, die teils elektromagnetische Felder (Wellen) abgeben, teils elektrostatische Felder aufbauen. Da geladene Teile (wie Ionen oder polare Moleküle) unter dem Krafteinfluss von elektrischen Feldern stehen und Moleküle zudem in Resonanz mit elektromagnetischen Feldern gehen können, entstand die Hypothese, dass die von den Zellen selber generierten Felder auf die Zellen zurückwirken. Wir sprechen auch von reziproker Kausalität (Figur 1, s. dazu eine historische Herleitung von Tzambazakis 2015).

Die endogenen elektrostatischen und elektromagnetischen Felder der Zellen sind eine unabdingbare Einflussgrösse in der Selbstorganisation der Zellen und Vielzeller. Während wir im 19. Jh. noch von Vitalismus resp. einer Lebenskraft sprachen, von der niemand genau wusste, was sie sei, doch manche annahmen, dass sie sei, änderte dies im Kontext wissenschaftlichen Denkens erstmals früh im 20. Jh., als von einem Kraftfeld und später zudem noch von mitogenetischer Strahlung die Rede war (Beloussov 1997, Beloussov 2015). Beides hat mit dem Vitalismus gemeinsam, dass es sich um nicht sichtbare Ursachen (Kräfte) handelt, deren Wirkung aber wahrgenommen werden kann. Heute erlebt der Vitalismus im Kontext der Theorienbildung über Selbstorganisation eine Renaissance (Bensaude-Vincent 2009, Kirschner et al. 2000), doch bleiben wir hier bei den Begriffen Kraftfeld und mitogenetische Strahlung. Als die Begriffe vor rund 100 Jahren gebildet wurden, hiess es, Ersteres spiele eine Rolle bei der Formgebung im Embryo (Beloussov 2015) und Letzteres sei ein wichtiger Faktor zur Auslösung von Zellteilungen (Gurwitsch 1923), die ihrerseits wiederum Grundvoraussetzung für Embryonalentwicklung sind (s. auch Beloussov 2011).

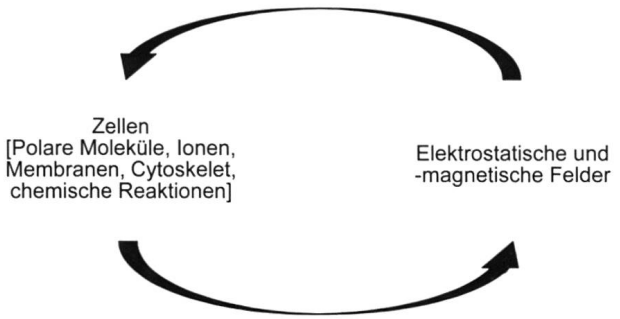

Abb. 1: Das Diagramm verweist auf die geladenen resp. polaren Bestandteile der Zelle sowie chemische Reaktionen und grössere ebenfalls geladene Strukturen, die zur Bildung von elektrostatischen und -dynamischen Feldern führen, welche – und dies ist die Hypothese – auf geladene Bestandteile und Strukturen in der Zelle zurückwirken. Wir sprechen von reziproker Kausalität am Beispiel der Zellsystemdynamik.

Der Begriff Kraftfeld wird heute nicht mehr gebraucht, ebenso wird mitogenetische Strahlung eher historisch verwendet. Hinter beiden Begriffen stehen heute Studien resp. Wissenschaftsgruppen, die mit anderen Begriffen auf dasselbe Phänomen eingehen: elektrostatische Felder (ESF) resp. Bioelektrizität (Levin 2003, Levin 2014b) und elektromagnetische Felder (EMF) (Cifra 2015, Cifra et al. 2011). Die Begriffe haben ihre Bedeutung in der Erforschung unbelebter Materie, doch haben sie ebenso ihre Berechtigung in der Erforschung der belebten Materie. Wir sprechen auch von zellulärer Elektrophysik, die zusammen mit der zellulären Chemie zu dem Phänomen führt, welches wir Leben nennen.

Grundsätzlich verweist die Elektrodynamik der Zellen auf ein *top-down* Prinzip (während in der molekularen Biologie tendenziell – und sicher auch bedingt durch den reduktionistischen Denkansatz – eher das *bottom-up* Prinzip vertreten ist). Zellen haben beidseitig ihrer Membranen Ionen, also geladene Atome. Dies führt zu ESF, die sich über einen Embryo hinweg ausdehnen, als quasi *meta-zelluläres* ESF (*sensu* Kraftfeld), und letztlich Pole bilden (Becker &

Selden 1985). Gekoppelt mit Porenproteinen, die für Ionen durchlässig sind, führen die Veränderungen der Membranpotentiale (dieser ESF) zu Musterbildungen einerseits und stellen eine Form der nicht-chemischen Zellkommunikation dar anderseits (Adams & Levin 2013), wobei dies im Kontext der Embryonalentwicklung ebenso wie der Regeneration steht (Levin 2014a). Man beachte, dass bei Entwicklung und Regeneration Zellen wandern, wir jedoch bis heute in den Textbüchern keine Antwort auf die Frage erhalten, was letztlich zur gewünschten Form führt (auch nachzulesen bei Lewontin 2000). Durch die Felder und deren Effekte auf Zellen erhalten wir allerdings heute die Antwort, nämlich dass die elektromagnetischen Felder wesentlich an der Formgebung teilnehmen (Abb. 1).

Zellen sind auch chemische Reaktoren, was u.a. zur Abgabe von Energieüberschüssen in Form von Licht führt (Pospisil et al. 2014, Prasad & Pospisil 2011, Prasad & Pospisil 2015). Zudem haben Zellen weitere Strukturen (Membranen und Cytoskelett), die einerseits geladen sind und anderseits oszillieren, wodurch diese ebenfalls, allerdings niederfrequentere, EMF abgeben (Cifra 2015, Friesen et al. 2015). Die Frage, die sich hier stellt, ist die nach der Funktionalität dieser Felder. ESF spielen eine entscheidende Rolle bei der Embryonalentwicklung, u.a. da sich polare Zellen des Embryos in diesen meta-zellulären ESF orientieren (Funk 2015). Auch spielen sie bei der Genregulation eine wichtige Rolle (Lobokin & Levin 2015). Demgegenüber sind die EMF in ihrer Funktionalität noch wenig erforscht (Fels 2009). Wir beziehen uns im Weiteren auf die EMF. Es besteht heute nebst konstruktiver Kritik (Kucera & Cifra 2013, Volodyaev & Beloussov 2015) eine aufarbeitende Literatur zu diesen Feldern (Fels et al. 2015, Lin 2012, Markov 2015).

Elektromagnetische Zellkommunikation

Während ESF einfacher zu messen sind und schon seit langem erforscht werden, sind die von Zellen abgegebenen EMF ultra-schwach und ihre Erforschung anspruchsvoll (Madl 2015). Bei der Frage nach der Funktion der EMF drängt sich die Annahme auf, dass Zellen als Sender ebenso wie als Empfänger von EMF funktionieren (wie zwei *smartphones,* die via EMF miteinander koppeln, s. dazu auch Fels 2015, Scholkmann et al. 2014). Dies deduzierte auch Gurwitsch als er mit Zwiebelwurzeln arbeitete, deren Zellteilungsrate in Abhängigkeit von einer (durch Quarzglas) getrennten und auf sie zugerichteten Zwiebelwurzelspitze zunahm (Gurwitsch 1923). Heute sind Reaktionen bekannt (mit sog. *reactive oxygen species*), die in den Zellen Photonen im sichtbaren Bereich generieren (Prasad & Pospisil 2015), allerdings sagt dies noch nichts über deren Funktion aus. Zudem herrscht Unklarheit darüber, was in den Empfängerzellen die EMF empfängt. Technisch gesprochen wird es sich um Strukturen handeln, die in der Frequenz der emittierten EMF resonieren können (siehe dazu Madl & Egot-Lemaire 2015). Ob die EMF der Sender und Empfänger Interferenzen bilden mit Effekten auf den Verlauf chemischer Reaktionen, muss erforscht werden. Der entscheidende Teil für die biologische Erforschung der Bedeutung von EMF für das Leben besteht aber primär im Erfassen der Funktion, die diese Felder haben (Fels 2015). Zu diesem Zweck hat der Autor vor zehn Jahren mit einer Reihe von Experimenten begonnen, bei denen Zellen des Einzellers *Paramecium caudatum* (Stamm: Ciliata, Abb. 2) chemisch voneinander isoliert wurden, jedoch der elektromagnetische Austausch erhalten blieb, indem Zellpopulationen durch Glas voneinander getrennt wurden (s. Figur 1 in Fels 2015).

Die Ergebnisse aus den ersten Serien haben gezeigt, dass Zellen des Ciliaten *Paramecium caudatum* durch Glas hindurch nicht nur andere Zellen zum Wachstum anregen konnten, sie konnten sie auch im Wachstum, also der Zellteilungsrate, hemmen. Das war neu. Ob Hemmung oder Förderung eintrat, hing von den Anzahlen der Zellen ab, ebenso wie vom Material, das sie trennte (Quarz- oder Normalglas). Da sich Zellen nur teilen können, wenn sie genügend *Baumaterial* haben, darf es zudem nicht verwundern, dass auch die Fressleistungen der Zellen in Abhängigkeit von Nachbarzellen (von denen sie durch Glas getrennt waren) erhöht oder ebenfalls erniedrigt werden konnten (s. auch Abb. 2).

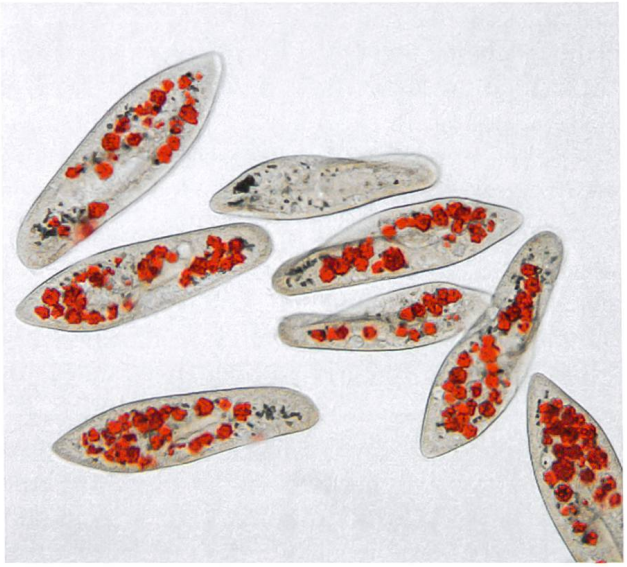

Abb. 2: zeigt mehrere Zellen des Ciliaten *Paramecium caudatum*. Die Zellen sind zwischen 0.2 und 0.3 mm lang. Man erkennt deutlich Nahrungsbläschen gefüllt mit rot angefärbter Hefe. Die Anzahl solcher Bläschen sind auch Ausdruck der vergangenen Fressleistung und variieren in Abhängigkeit von vorhandenen oder eben nichtvorhandenen Zellen derselben Art, von denen sie durch Glas oder Quarz getrennt waren (siehe Text).

Als berechtigte Schlussfolgerung durfte eine nicht-chemische, wahrscheinlich elektromagnetische Kommunikation angenommen werden (Fels 2009). Weitere Analysen zeigten darüber hinaus Ähnlichkeiten mit Beziehungs-Musterbildungen, wie man sie bei Zwei-Photonen-Verschränkungsexperimenten findet. Diese eher anspruchsvolle Analyse ist andernorts beschrieben (Fels 2012).

Es wurden in den vergangenen Jahrzehnten nur wenige Untersuchungen mit Zellen der gleichen Art und der Frage nach nicht-chemischer Zellkommunikation durchgeführt (Albrecht-Buehler 1992, Farhadi et al. 2007, Fels 2009, Jaffe 2005, Musumeci et al. 1999). Sie bestätigten allerdings alle die frühen Experimente aus der ersten Hälfte des 20. Jh. Damals sind zudem Effekte über die Artgrenze hinaus beschrieben worden (bspw. Magrou & Magrou 1927, Reiter & Gabor 1928) und, wenngleich mit anderer Absicht, wurde dies auch in einer rezenten Arbeit gezeigt für Effekte von menschlichen mikrovasculären Endothelzellen auf Mäusefibroblasten (Rossi et al. 2011, aber s. Fels 2016).

Elektrodynamische Beschreibung von Leben

Als ich Prof. Vitiello (Prof. f. Quantenfeldtheorie) fragte, weswegen sich Zellen teilen, also sich selber machen, erwiderte er: «Spiegelung ist die energetisch günstigste Art, überschüssige Energie in die Umgebung abzugeben». Interessant ist die Antwort auch deswegen, weil dahinter Theorien stehen, die allesamt aus der Physik stammen. Biologen stellen die obige Frage so nicht; sie gehen von Ursprungsmodellen des Lebens aus, welche mit zwei Replikatoren beginnen, die mittels Mutationen, Variation und Selektion sich aneinander zu selbst-generierenden Molekülstrukturen angepasst haben (Maynard Smith & Szathmary 1995). Diesem Modell gegenüber stehen Modelle, die mit einem Replikator auskommen, aber nur wenn Verstehen aus der Quantenphysik dazukommt, wobei Moleküle oszillierende Felder sind mit sogenannten Superpositions-Zuständen (Al-Khalili & McFadden 2008).

Gemessen am heutigen Wissensstand ist es absurd, Leben nur in der Dimension des klassischen Molekülverständnisses zu beschreiben. Natürlich sind Lebewesen aus Molekülen gebildet und natürlich werden Metaboliten auch als Signale verwendet. Doch verlassen wir dieses Denken für einen Moment und sehen ein Lebewesen aufgrund der Sonnenlicht-Reflexion auf seinem Körper. Diese elektromagnetischen Wellen werden von unserem Auge vorerst durch Resonanz in Sinneszellen, dann durch Umkehrungen von elektrostatischen Feldern (Physik) entlang der Sehnerven via Transmitter-Substanzen (Chemie) decodiert und neu-codiert, wobei sich letztlich im Gehirn ein Bild zusammensetzt. Hier beginnt auch der Bewusstseinsbereich, von dem wir nicht wissen, was ihn ausmacht, allerdings annehmen, dass die EMF hierzu einen Beitrag leisten (Dotta et al. 2011, Hinterberger et al. 2015, Vitiello 2001).

Wir resp. unsere Zellen spielen immer mit der Physik, ob wir dabei Fussball spielen oder einfach nur sind. Eine hauptsächlich auf die Chemie des Lebens bezogene Biologie ist ein Sich-Beschränken auf Modellbildungen, die dem philosophischen Materialismus des 19. Jh entstammen. Eine entsprechende Machthoheit schränkte

unser kulturelles Wachstum ein. Man muss sogar die Frage stellen, ob es zulässig sein darf, Studierenden der Lebenswissenschaften gegenüber das gesamte bis heute erarbeitete Wissen um die Felder der Zellen zu verschweigen.

Organismen generieren endogene EMF. Wir gehen auf der Basis von Theorie und Forschung davon aus, dass diese endogenen elektromagnetischen Felder einen Effekt haben in den Regulationen von Zellen, Embryonen und auch von (Zell-)Populationen. Wenngleich der direkte Nachweis noch nicht erbracht worden ist, dürfen wir annehmen, dass die nicht-chemische Kommunikation mittels EMF ebenso Effekte auf dem Niveau der Gene hat wie die chemische; die Erzeugung typischer Produkte von Genaktivität (Proteine, Metaboliten) wurden durch Glas resp. Quarz hindurch im Medium von Nachbarspopulationen gemessen (Farhadi et al. 2007, Galantsev et al. 1993, Shen et al. 1994). Wie oben erwähnt wurde Genregulation ausgelöst durch Veränderungen der Membranpotentiale (ESF) schon gezeigt (Lobokin & Levin 2015).

Hinweise für Effekte der EMF zwischen verschiedenen Arten führen uns zudem in die Ökologie des Lebens und somit nicht nur in die Frage der innerartlichen, sondern auch in die der zwischenartlichen Kommunikation und den dafür verwendeten Mitteln resp. *codes* (dazu Barbieri 2008): Gibt es einen physikalischen *code* des Lebens? Gilt es dabei Fragen im Kontext von Informationsfluss mit aus der Mathematik und Technik abgeleiteten Modellen vielleicht ebenfalls zu überdenken (Longo et al. 2012)? Es könnte sich herausstellen, dass Modelle reziproker Kausalitäten die – im Unterschied zu linearen – wahrscheinlich besseren Modelle für Selbstorganisation sind. Dafür aber ist eine Vorstellung von Leben, das solch eine Wechselwirkung permanent aufrecht erhält, entscheidend: Die Felder der Zellen sind mit den Molekülen zusammen solch ein Beziehungssystem der reziproken Kausalität (Abb. 1).

Aussicht

Wir stehen am Anfang einer neuen Epoche der Biologie. So wie die Wahrnehmung der Schwerkraft es gestattete, den Verlauf der Planeten in einem Feld zu erkennen, das Teil eines selbstorganisierten Prinzips, des Sonnensystems, darstellt, so erweitert die zelluläre Elektrophysik unser Verständnis von der Zelle und ihrer Selbstorganisation. Der materielle Reduktionismus war erfolgreich gewesen bei der Emanzipation von der Kirche, was die Fragen an die Natur anbelangt. Er hat sich aber einschränkenderweise der messbaren Materie verschrieben und läuft heute Gefahr zu einem Anachronismus zu verkommen. Zellen erzeugen Felder mit einem *top-down* Effekt. Diese Felder haben wahrscheinlich auch zellinterne Funktionen, die aber erst mit Nanosendern und -empfängern erforschbar sein werden. Die potentielle Funktion der Felder für die Zellteilungsregulation zwischen Zellen wurde dargelegt. Eine Erforschung der hierfür verwendeten Frequenzen wird zu nicht-invasiven Therapien führen, ein Prozess, der bereits begonnen hat (Markov 2015). Dass die Zellen auch zwischenartlich und nicht-chemisch kommunizieren, kann als Basis für ein erweitertes Ökologieverständnis gesehen werden, welches die Physik verstärkt miteinbezieht (Brizhik 2011). Dabei werden auch Quantenphänomene diskutiert (Fröhlich 1968, Han et al. 2011); dies mit weitreichenden Modellen bspw. bis hin zu Mechanismen der Evolution (McFadden 2000). Das weite Feld der zellulären Elektrophysik ist wie ein neuer Kontinent und manch ein Forscher oder eine Forscherin sind schon dahin aufgebrochen.

Literatur

Adams, D. S. & M. Levin (2013): Endogenous voltage gradients as mediators of cell-cell communication: strategies for investigating bioelectrical signals during pattern formation. Cell Tissue Res: 95–122.

Al-Khalili, J. & J. McFadden (2008): Quantum coherence and the search for the first replicator. In: Quantum aspects of life, (Abbott, D., Davies, P. C. W. & Pati, A. K., eds.). pp. 31–49. Imperial College Press, London.

Albrecht-Buehler, G. (1992): Rudimentary form of cellular «vision». Proceedings of the Natural Academy of Sciences 89: 8299–8292.

Barbieri, M. (2008): Naturwissenschaften: 577–599.

Becker, R. O. & G. Selden (1985): The Body Electric. Morrow, New York.

Beloussov, L. V. (1997): Life of Alexander G. Gurwitsch and his relevant contribution to the theory of morphogenetic fields. Int. Journal of Developmental Biology 41: 771–779.

Beloussov, L. V. 2(2011): Mechanoelectrical and Photon-Generating Devices in Cells and Organisms: From Molecular Machines to Macroscopic Fields. J Phys: Conf Ser 329: 1–13.

Beloussov, L. V. (2015): Morphogenetic fields: History and relations to other concepts. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 267–278. Research Signpost, Trivandrum.

Bensaude-Vincent, B. (2009): Self-Assembly, Self-Organization: Nanotechnology and Vitalism. Nanoethics: 31–42.

Brizhik, L. (2011): On The Role And Impact Of Electromagnetic Fields In Ecosystems. Int J of Design & Nature and Ecodynamics: 272–281.

Cifra, M. (2015): Cellular electrodynamics in kHz–THz region. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 185–210. Research Signpost, Trivandrum.

Cifra, M., J. Z. Fields & A. Farhadi (2011): Electromagnetic cellular interactions. Progress in Biophysics and Molecular Biology 105: 223-246.

Dotta, B. T., C. A. Buckner, R. M. Lafrenie & M. A. Persinger (2011): Photon emissions from human brain and cell culture exposed to distally rotating magnetic fields shared by separate light-stimulated brains and cells. Brain Research: 77–88.

Farhadi, A., Forsyth, C., A. Banan, M. Shaikh, P. Engen, J. Z. Fields & A. Keshavarzian (2007): Evidence for non-chemical, non-electrical intercellular signaling in intestinal epithelial cells. Bioelectrochemistry 71: 142–148.

Fels, D. (2009): Cellular communication through light. PLoS ONE 4: e5086.

Fels, D. (2012): Analogy between quantum and cell relations. Axiomathes 22: 509–520.

Fels, D. (2015): Electromagnetic cell communication and the barrier method. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 149–162. Research Signpost, Trivandrum.

Fels, D., M. Cifra & F. Scholkmann (Eds.) (2015): Fields of the Cell, Trivandrum, Research Signpost.

Fels, D. (2015): Physical Non-Contact Communication between Microscopic Aquatic Species: Novel Experimental Evidences for an Interspecies Information Exchange. Journal of Biophysics, Vol. 2016, Article ID 7406356, 5 pages

Friesen, D. E., T. J. A. Craddock, A. Priel & Tuszynski, J. A. (2015): Cytoskeletal electrostatic and ionic conduction effects in the cell. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 243–265. Research Signpost, Trivandrum.

Fröhlich, H. (1968): Long-Range Coherence and Energy Storage in Biological Systems. International Journal of Quantum Chemistry 2: 641–649.

Funk, R. H. W. (2015): Endogenous electric fields as guiding cue for cell migration. Frontiers in Physiology: 6:143.

Galantsev, V. P., S. G. Kovalenko, A. A. Moltchanov & Prutskov, V. I. (1993): Lipid peroxidation, low-level chemiluminescence and regulation of secretion in the mammary gland. Experientia (Basel) 49: 870–875.

Gurwitsch, A. (1923): Die Natur des spezifischen Erregers der Zellteilung. Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen 52: 11–40.

Han, J., M. Yang & Y. Chen (2011): Quantum: May be a new-found messenger in biological systems. Bio Science Trends: 89–92.

Hinterberger, T., C. Önal-Hartmann & V. Salari (2015): Synchrony and consciousness. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 225–242. Research Signpost, Trivandrum.

Jaffe, L. F. (2005): Marine plants may polarize remote Fucus eggs via luminescence. Luminescence 20: 414–418.

Kirschner, M., J. Gerhart & T. Mitchison (2000): Molecular «Vitalism». Cell: 79–88.

Kucera, O. & M. Cifra (2013): Cell-to-cell signaling through light: just a ghost of chance? Cell Communication and Signaling 11:87.

Levin, M. (2003): Bioelectromagnetics in Morphogenesis. Bioelectromagnetics 24: 295–315.

Levin, M. (2014a): Endogenous bioelectrical networks store non-genetic patterning information during development and regeneration. J Physiol: 2295–2305.

Levin, M. (2014b): Molecular bioelectricity: how endogenous voltage potentials control cell behavior and instruct pattern regulation in vivo. Molecular Biology of the Cell: 3835–3850.

Lewontin, R. (2011): The Triple Helix.Harvard University Press, London.

Lin, J. C. (Ed.) (2012): Electromagnetic Fields in Biological Systems, Boca Raton, Taylor & Francis.

Lobokin, M. & M. Levin (2015): Endogenous bioelectric cues as morphogenetic signals in vivo. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 279–298. Research Signpost, Trivandrum.

Longo, G., P.-A. Miquel, C. Sonnenschein & A. M. Soto (2012): Is information a proper observable for biological organization? Progress in Biophysics and Molecular Biology 109: 108–114.

Madl, P. (2015): Detection and measurement of biogenic ultra-weak photon emission. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 55–70. Research Signpost, Trivandrum.

Madl, P. & S. Egot-Lemaire (2015): The field and the photon from a physical point of view. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 29–54. Research Signpost, Trivandrum.

Magrou, T. & M. Magrou, (1927): Radiations émises par le Bacterium tumefaciens Rev. Path. Veg. Ent. Agric.: 244–246.

Markov, M. S. (2015): Electromagnetic Fields in Biology and Medicine.Taylor & Francis, Boca Raton.

Maynard Smith, J. & E. Szathmary(1995): The major transitions in evolution. OUP, Oxford.

McFadden, J. (2000): Quantum Evolution: Life in the Multiverse. Flamingo, London.

Musumeci, F., A. Scordino, A. Triglia, G. Blandino & I. Milazzo (1999): Intercellular communication during yeast cell growth. Europhysics Letters 47: 736–742.

Pospisil, P., A. Prasad & M. Rac (2014): Role of reactive oxygen species in ultra-weak photon emission in biological systems. J Photochem and Photobiol B: Biology: 11–23.

Prasad, A. & P. Pospisil (2011): Linoleic Acid-Induced Ultra-Weak Photon Emission from Chalmydomonas reinhardtii as a Toll for Monitoring of Lipid Peroxidation in the Cell Membranes. PLoS ONE 6: e22345.

Prasad, A. & Pospisil, P. (2015): The photon source within the cell. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 113–130. Research Signpost, Trivandrum.

Reiter, T. & D. Gabor (1928): Zellteilung und Strahlung. Springer, Berlin.

Rossi, C., Foletti, A., Magnani, A. & Lamponi, S. (2011): New perspectives in cell communication: Bioelectromagnetic interactions. Seminars in Cancer Biology 21: 207–214.

Scholkmann, F., Fels, D. & Cifra, M. (2014): Non-chemical and non-contact cell-to-cell communication: a short review. American Journal of Translational Research 5: 586–593.

Shen, X., W. Mei & X.Xu, (1994): Activation of neutrophils by a chemically separated but optically coupled neutrophil population undergoing respiratory burst. Experientia (Basel) 50: 963–968.

Tzambazakis, A. (2015): The evolution of the biological field concept. In: Fields of the Cell, (Fels, D., Cifra, M. & Scholkmann, F., eds.). pp. 1–28. Research Signpost, Trivandrum.

Vitiello, G. (2001): My Double Unveiled: The dissipative quantum model of brain. John Benjamins, Amsterdam.

Volodyaev, I. & L. V. Beloussov (2015): Revisiting the mitogenetic effect of ultra-weak photon emission. Frontiers in Physiology: 6:241.

Dr. Daniel Fels
Botanisches Institut d. Univ. Basel
Hebelstrasse 1
4056 Basel
daniel.fels@unibas.ch