

Methylenblau Kurzmonographie in Stichworten und Literaturverweisen

Recherchiert und zusammengestellt von Dr. Freia Hünig und Daniel Hünig

1. [Mitochondrien, Atmungskette und Energiegewinnung](#)
2. [Oxidativer Stress, ROS, antioxidative Wirkungen und NRF2-Signalweg](#)
3. [Neuroprotektion, Alzheimer-Krankheit, Parkinson-Krankheit, Gedächtnis und Kognition](#)
4. [Hautalterung, Fibroblasten, Wundheilung, UV-Schutz und dermatologische Anwendungen](#)
5. [Methämoglobinämie, Gefäßwirkungen, Stickstoffmonoxid-System, Guanylatcyclase, Vasoplegie und Schockbehandlung](#)
6. [Onkologie, Tumormetabolismus und photodynamische Therapie \(PDT\)](#)
7. [Antimikrobielle, antivirale, antiparasitäre und antiinfektiöse Wirkungen](#)

In jedem Abschnitt werden die Eigenschaften bzw. Wirkungen tabellarisch gelistet, mit Verweisen auf die jeweils unter der Tabelle aufgeführte Literatur.

Alle Quellenangaben sind mit funktionierenden Hyperlinks versehen, bis auf wenige Ausnahmen über <https://doi.org>.

Die Literaturlisten sind der Übersicht halber in sich thematisch gegliedert.

Stand: 4. Juni 2026

1) Mitochondrien, Atmungskette und Energiegewinnung

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Redox-Zyklus MB \rightleftharpoons Leuko-MB	Reversible Aufnahme und Abgabe von Elektronen	biochemisch	[1], [2], [3]
Elektronen-Shuttle zwischen NADH und Cytochrom c	Umgehung gestörter Elektronentransportwege	biochemisch, Zellkultur	[1], [4], [5]
Umgehung von Komplex I-Defekten	Elektronenübertragung direkt auf Cytochrom c	Zellkultur, Tier	[4], [5], [6]
Umgehung von Komplex III-Defekten	Alternative Elektronenleitung	Zellkultur, Tier	[4], [5]
Erhöhung der Cytochrom-c-Oxidase-Aktivität	Verbesserung des Elektronenflusses zu Komplex IV	Zellkultur	[4], [7]
Erhöhung des mitochondrialen Membranpotentials	Verbesserte oxidative Phosphorylierung	Zellkultur	[4], [7]
Erhöhung der ATP-Produktion	Verbesserte Effizienz der Atmungskette	Zellkultur, Tier	[4], [7], [8]
Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs	Verstärkte mitochondriale Respiration	Zellkultur	[4], [8]
Verringerung des Elektronenlecks	Weniger Nebenreaktionen der Atmungskette	biochemisch	[1], [4]
Verringerung der Superoxidbildung	Reduktion unvollständiger Sauerstoffreduktion	Zellkultur, Tier	[4], [8]
Verbesserung der mitochondrialen Funktion im Alter	Erhalt der oxidativen Phosphorylierung	Zellkultur, Tier	[7], [8]
Verbesserung der mitochondrialen Funktion bei Progerie	Wiederherstellung gestörter Atmung	Zellkultur	[9]
Förderung der zellulären Energieverfügbarkeit	Erhöhte ATP-Bereitstellung	Zellkultur, Tier	[4], [7], [8]
Verbesserung der metabolischen Flexibilität	Verschiebung von Glykolyse zu oxidativer Phosphorylierung	Zellkultur	[10]
Gegenwirkung zum Warburg-Effekt	Reaktivierung mitochondrialer Energiegewinnung	Tumorzellkultur	[10], [11]
Erhöhung der Sauerstoffnutzung in Tumorzellen	Verstärkte mitochondriale Oxidation	Tumorzellkultur	[10], [11]

Literatur

Grundlagen der mitochondrialen Wirkung

- [1] Atamna H, Kumar R.
Protective role of methylene blue in Alzheimer's disease via mitochondria and cytochrome oxidase.
Journal of Alzheimer's Disease. 2010;20(Suppl 2):S439-S452.
<https://doi.org/10.3233/JAD-2010-100414>
- [2] Atamna H, Nguyen A, Schultz C et al.
Methylene blue delays cellular senescence and enhances key mitochondrial biochemical pathways.
FASEB Journal. 2008;22(3):703-712.
<https://doi.org/10.1096/fj.07-9610com>

Elektronentransport und Atmungskette

- [3] Wen Y, Li W, Poteet EC et al.
Alternative mitochondrial electron transfer as a novel strategy for neuroprotection.
Journal of Biological Chemistry. 2011;286(18):16504-16515.
<https://doi.org/10.1074/jbc.M110.208447>
- [4] Xiong ZM, O'Donovan M, Sun L, Choi JY, Ren M, Cao K.
Methylene Blue Protects Skin from UV-Induced Damage and Delays Skin Aging In Vivo.
Scientific Reports. 2017;7:2475.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-02419-3>
- [5] Riha PD, Bruchey AK, Echevarria DJ, Gonzalez-Lima F.
Memory facilitation by methylene blue: dose-dependent effects on behavior and brain oxygen consumption.
European Journal of Pharmacology. 2005;511(2-3):151-158.
<https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2005.02.001>

ATP-Produktion und Zellenergie

- [6] Gonzalez-Lima F, Bruchey AK.
Extinction memory improvement by the metabolic enhancer methylene blue.
Learning & Memory. 2004;11(5):633-640.
<https://doi.org/10.1101/lm.82404>
- [7] Poteet E, Winters A, Li W et al.
Neuroprotective actions of methylene blue and its derivatives.
PLoS One. 2012;7(10):e48279.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048279>
- [8] Tucker D, Lu Y, Zhang Q.
From Mitochondrial Function to Neuroprotection-an Emerging Role for Methylene Blue
Mol Neurobiol. 2018 Jun;55(6):5137-5153.
<https://doi.org/10.1007/s12035-017-0712-2>

Progerie und Alterungsmodelle

[9] Xiong ZM, O'Donovan M, Sun L et al.
Methylene blue alleviates nuclear and mitochondrial abnormalities in progeria.
Aging Cell. 2016;15(2):279-290.
<https://doi.org/10.1111/ace.12434>

Tumormetabolismus

[10] da Veiga Moreira J et al.
Methylene Blue Metabolic Therapy Restrains In Vivo Ovarian Tumor Growth
Cancers. 2024.
<https://doi.org/10.3390/cancers16020355>

[11] Warburg O.
On the origin of cancer cells.
Science. 1956;123(3191):309-314.
<https://doi.org/10.1126/science.123.3191.309>

2) Oxidativer Stress, ROS, antioxidative Wirkungen und NRF2-Signalweg

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Verringerung mitochondrialer ROS-Bildung	Umgehung der Haupt-ROS-Quellen in Komplex I und III	Zellkultur, Tier	[1], [2], [3]
Verringerung der Superoxidbildung	Verminderter Elektronenstau in der Atmungskette	Zellkultur	[1], [4]
Verringerung oxidativer Zellschäden	Reduktion von ROS-induzierten Makromolekülschäden	Zellkultur, Tier	[2], [5]
Schutz vor H ₂ O ₂ -induzierter Seneszenz	Verringerung oxidativer Belastung	Zellkultur	[5], [6]
Schutz vor Cadmium-induzierter Seneszenz	Reduktion sekundärer ROS-Bildung	Zellkultur	[5]
Verringerung oxidativer DNA-Schäden	Verminderte ROS-Exposition	Zellkultur	[5]
Verringerung mitochondrialer Oxidationsschäden	Schutz von Membranen und Atmungskettenproteinen	Zellkultur, Tier	[1], [2]
Unterbrechung des ROS-Mitochondrien-Schadenszyklus	Verbesserung der Mitochondrienfunktion senkt ROS, geringere ROS senken Folgeschäden	mechanistisch, Zellkultur	[2], [6]
Schutz von Komplex I vor oxidativer Schädigung	Reduktion der ROS-Belastung	mechanistisch	[1], [2]
Schutz von Komplex IV vor oxidativer Schädigung	Erhalt der Cytochrom-c-Oxidase-Aktivität	mechanistisch	[1], [2]
Erhöhung der zellulären Stressresistenz	Verbesserung der Redoxhomöostase	Zellkultur	[5], [6]
Aktivierung des NRF2-Signalwegs	Hochregulation zellulärer Antioxidantien-Systeme	Zellkultur	[8], [9]

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Aktivierung von ARE-abhängigen Schutzgenen	NRF2-vermittelte Genexpression	Zellkultur	[8]
Erhöhung der Hämoxigenase-1 (HO-1)	NRF2-Zielgen	Zellkultur	[8]
Erhöhung von NQO1	NRF2-Zielgen	Zellkultur	[8]
Verbesserung der antioxidativen Zellantwort	Aktivierung mehrerer Schutzsysteme	Zellkultur	[8], [9]
Schutz vor UV-induziertem oxidativem Stress	Verringerung UV-bedingter ROS	Keratinozyten	[10]
Schutz vor photooxidativen Schäden	Antioxidative und UV-absorbierende Eigenschaften	Zellkultur	[10]
Verringerung altersassoziierter oxidativer Belastung	Verbesserung der Mitochondrienfunktion	Zellkultur, Tier	[2], [6]
Antioxidative Wirkung in Hautfibroblasten	Verringerung zellulärer Alterungsmarker	Zellkultur	[5], [10]

Literatur

Grundlagen oxidativer Stress und Mitochondrien

[1] Atamna H, Kumar R.

Protective role of methylene blue in Alzheimer's disease via mitochondria and cytochrome oxidase.

Journal of Alzheimer's Disease. 2010;20(Suppl 2):S439-S452.

<https://doi.org/10.3233/JAD-2010-100414>

[2] Xue H, Thaivalappil A, Cao K.

The Potentials of Methylene Blue as an Anti-Aging Drug.

Cells. 2021;10(12):3379.

<https://doi.org/10.3390/cells10123379>

ROS und mitochondriale Oxidationsschäden

[3] Tretter L, Horvath G, Hölgyesi A et al.

Enhanced hydrogen peroxide generation accompanies the beneficial bioenergetic effects of methylene blue in isolated brain mitochondria.

Free Radical Biology and Medicine. 2014;77:317-330.

<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2014.09.024>

[4] Sváb G, Kokas M, Sipos I et al.

Methylene Blue Bridges Electron Transfer in Complex III-Inhibited Mitochondria.

Antioxidants. 2021;10(2):305.

<https://doi.org/10.3390/antiox10020305>

Zelluläre Seneszenz und antioxidative Wirkungen

[5] Atamna H, Nguyen A, Schultz C et al.
Methylene Blue Delays Cellular Senescence and Enhances Key Mitochondrial Biochemical Pathways.
FASEB Journal. 2008;22(3):703-712.
<https://doi.org/10.1096/fj.07-9610com>

[6] Poteet E, Winters A, Li W et al.
Neuroprotective Actions of Methylene Blue and Its Derivatives.
PLoS One. 2012;7(10):e48279.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048279>

NRF2-Signalweg

[8] Stack C, Jainuddin S, Elipenahli C et al.
Methylene blue upregulates Nrf2/ARE genes and prevents tau-related neurotoxicity.
<https://doi.org/10.1093/hmg/ddu080>

[9] Donovan Tucker, Yujiao Lu, Quanguang Zhang
From Mitochondrial Function to Neuroprotection – An Emerging Role for Methylene Blue.
<https://doi.org/10.1007/s12035-017-0712-2>

Hautalterung und UV-Schutz

[10] Xue H, Thaivalappil A, Cao K.
The Potentials of Methylene Blue as an Anti-Aging Drug.
Cells. 2021;10(12):3379.
<https://doi.org/10.3390/cells10123379>

3) Neuroprotektion, Alzheimer-Krankheit, Parkinson-Krankheit, Gedächtnis und Kognition

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Überwindung der Blut-Hirn-Schranke	Hohe Lipophilie und Gewebegängigkeit	Pharmakokinetik, Tier	[1], [2]
Anreicherung im Gehirn	Konzentrationen über Plasmaspiegel	Tier	[1], [3]
Verbesserung der neuronalen Mitochondrienfunktion	Erhöhung oxidativer Phosphorylierung	Tier, Zellkultur	[2], [4], [5]
Verbesserung des neuronalen Energiestoffwechsels	Erhöhte ATP-Verfügbarkeit	Tier	[4], [6]
Erhöhung der Hirn-Sauerstoffnutzung	Verbesserte mitochondriale Respiration	Tier, Human	[4], [7]
Erhöhung der Cytochrom-c-Oxidase-Aktivität im Gehirn	Verbesserung des Elektronentransports	Tier	[4], [8]
Neuroprotektion bei oxidativem Stress	Verminderung neuronaler ROS-Belastung	Tier, Zellkultur	[2], [5], [9]
Neuroprotektion bei mitochondrialen Defekten	Alternativer Elektronentransport	Tier, Zellkultur	[2], [5]

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Schutz vor neuronaler Degeneration	Mehrere Mechanismen	Tier	[5], [9]
Verbesserung der Gedächtniskonsolidierung	Verbesserter neuronaler Energiestoffwechsel	Tier	[10], [11]
Verbesserung des Langzeitgedächtnisses	Erhöhte ATP-Bereitstellung während Lernprozessen	Tier	[10], [11]
Verbesserung der Lernleistung	Erhöhte metabolische Kapazität von Neuronen	Tier	[10], [12]
Verbesserung der kognitiven Leistung	Funktionelle Hirnnetzwerke beeinflusst	Human	[13]
Schutz vor altersbedingtem Gedächtnisverlust	Verbesserung mitochondrialer Funktion	Tier	[11], [12]
Schutz vor zerebraler Hypoperfusion	Erhalt der Cytochrom-c-Oxidase-Aktivität	Tier	[14]
Schutz vor Ischämie-Reperfusionsschäden	Verringerung oxidativer Schäden	Tier	[5], [9]
Neuroprotektion nach Schädel-Hirn-Trauma	Verbesserung mitochondrialer Funktion	Tier	[5]
Verringerung neuroinflammatorischer Folgeschäden	Sekundäre antioxidative Wirkung	Tier	[5]
Hemmung der Tau-Aggregation	Direkte Interaktion mit Tau-Proteinen	Zellkultur, Tier	[15], [16], [17]
Verminderung neurofibrillärer Tangles	Tau-bezogener Mechanismus	Tier	[16], [17]
Verringerung von Amyloid- β -Aggregation	Beeinflussung der A β -Bildung und -Aggregation	Zellkultur, Tier	[18], [19], [20]
Förderung des Abbaus von Amyloid- β	Proteasom- und Autophagie-Effekte	Tier	[19], [21]
Verbesserung kognitiver Defizite in Alzheimer-Modellen	Kombination mehrerer Wirkmechanismen	Tier	[22], [23]
Verlangsamung kognitiven Abbaus bei Alzheimer	Klinische Hinweise	Human	[24], [25]
Schutz dopaminerger Neuronen	Erhalt mitochondrialer Funktion	Tier	[26], [27], [28]
Verbesserung motorischer Defizite bei Parkinson	Neuroprotektion nigrostriataler Neurone	Tier	[26], [27], [29]
Verminderung α -Synuclein-assoziiierter Schäden	Indirekt über Mitochondrien	mechanistisch	[30], [31]
Potenzieller Einsatz bei Multipler Sklerose	Verbesserung neuronaler Mitochondrienfunktion	experimentell	[32]

Literatur

Pharmakokinetik und Hirnverteilung

- [1] Rojas JC, Bruchey AK, Gonzalez-Lima F.
Neurometabolic mechanisms for memory enhancement and neuroprotection of methylene blue.
Progress in Neurobiology. 2012;96(1):32-45.
<https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2011.10.007>
- [2] Tucker D, Lu Y, Zhang Q.
From Mitochondrial Function to Neuroprotection-an Emerging Role for Methylene Blue.
Progress in Neurobiology. 2018;170:23-45.
<https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2018.04.002>
- [3] Peter C, Hongwan D, Küpfer A, Lauterburg BH.
Pharmacokinetics and organ distribution of intravenous and oral methylene blue.
European Journal of Clinical Pharmacology. 2000;56:247-250.
<https://doi.org/10.1007/s002280000124>

Gehirnenergetik und Neuroprotektion

- [4] Gonzalez-Lima F, Barksdale BR, Rojas JC.
Mitochondrial respiration as a target for neuroprotection and cognitive enhancement.
Biochemical Pharmacology. 2014;88(4):584-593.
<https://doi.org/10.1016/j.bcp.2013.11.024>
- [5] Poteet E, Winters A, Li W et al.
Neuroprotective actions of methylene blue and its derivatives.
PLoS One. 2012;7(10):e48279.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048279>
- [6] Wen Y et al.
Alternative mitochondrial electron transfer as a novel strategy for neuroprotection.
Journal of Biological Chemistry. 2011;286:16504-16515.
<https://doi.org/10.1074/jbc.M110.208447>
- [7] Riha PD, Bruchey AK, Echevarria DJ, Gonzalez-Lima F.
Memory facilitation by methylene blue: dose-dependent effect on behavior and brain oxygen consumption.
European Journal of Pharmacology. 2005;511:151-158.
<https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2005.01.019>
- [8] Wrubel KM et al.
The brain metabolic enhancer methylene blue improves discrimination learning in rats.
Pharmacology Biochemistry and Behavior. 2007;86:712-717.
<https://doi.org/10.1016/j.pbb.2007.02.018>

Gedächtnis und Kognition

- [9] Auchter AM et al.
Methylene Blue Preserves Cytochrome Oxidase Activity and Prevents Neurodegeneration and Memory Impairment in Rats with Chronic Cerebral Hypoperfusion.
Frontiers in Cellular Neuroscience. 2020;14:147.
<https://doi.org/10.3389/fncel.2020.00130>
- [10] Gonzalez-Lima F, Bruchey AK.
Extinction memory improvement by the metabolic enhancer methylene blue.
Learning & Memory. 2004;11:633-640.
<https://doi.org/10.1101/lm.82404>
- [11] Echevarria DJ et al.
Methylene blue facilitates memory retention in zebrafish in a dose-dependent manner.
Zebrafish. 2016;13:489-494.
<https://doi.org/10.1089/zeb.2016.1290>
- [12] Wrubel KM et al.
The brain metabolic enhancer methylene blue improves discrimination learning in rats.
Pharmacol Biochem Behav. 2007;86:712-717.
<https://doi.org/10.1016/j.pbb.2007.02.018>
- [13] Rodriguez P et al.
Multimodal randomized functional MR imaging of the effects of methylene blue in the human brain.
Radiology. 2016;281:516-526.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2016152893>

Alzheimer-Krankheit

- [14] Necula M et al.
Methylene blue inhibits amyloid A β oligomerization by promoting fibrillization.
Biochemistry. 2007;46:8850-8860.
<https://doi.org/10.1021/bi700282k>
- [15] Hosokawa M et al.
Methylene Blue Reduced Abnormal Tau Accumulation in P301L Tau Transgenic Mice.
PLoS One. 2012;7:e52389.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052389>
- [16] Wischik CM et al.
Tau-aggregation inhibitor therapy for Alzheimer's disease.
Alzheimer's & Dementia. 2008;4:S167-S168.
<https://doi.org/10.1016/j.bcp.2013.12.008>
- [17] Lee BI et al.
Shedding Light on Alzheimer's β -Amyloidosis: Photosensitized Methylene Blue Inhibits Self-Assembly of β -Amyloid Peptides and Disintegrates Their Aggregates.
Scientific Reports. 2017;7:7523.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-07581-2>

[18] Medina DX et al.
Methylene blue reduces A β levels and rescues early cognitive deficit by increasing proteasome activity.
Brain Pathology. 2011;21:140-149.
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3639.2010.00430.x>

[19] Mori T et al.
Methylene Blue Modulates β -Secretase, Reverses Cerebral Amyloidosis, and Improves Cognition in Transgenic Mice.
Journal of Biological Chemistry. 2014;289:30303-30317.
<https://doi.org/10.1074/jbc.m114.568212>

[20] Paban V et al.
Therapeutic and preventive effects of methylene blue on Alzheimer's disease pathology.
Neuropharmacology. 2014;76:68-79.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2013.06.033>

[21] Wilcock GK et al.
Potential of LMTM monotherapy for treatment of mild Alzheimer's disease.
Journal of Alzheimer's Disease. 2018;61:435-457.
<https://doi.org/10.3233/JAD-170560>

Parkinson-Krankheit

[22] Rojas JC et al.
Striatal neuroprotection with methylene blue.
Neuroscience. 2009;163:877-889.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.07.012>

[23] Smith ES et al.
Daily consumption of methylene blue reduces attentional deficits and dopamine reduction in a 6-OHDA model of Parkinson's disease.
Neuroscience. 2017;359:8-16.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.06.055>

[24] Biju KC et al.
Methylene Blue Ameliorates Olfactory Dysfunction and Motor Deficits in a Chronic MPTP Mouse Model of Parkinson's Disease.
Neuroscience. 2018;380:111-122.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.03.041>

α -Synuclein und weitere Neurodegeneration

[25] Ganjam GK et al.
Mitochondrial damage by α -synuclein causes cell death in human dopaminergic neurons.
Cell Death & Disease. 2019;10:865.
<https://doi.org/10.1038/s41419-019-2091-2>

[26] Rosenkranz SC et al.
Enhancing mitochondrial activity in neurons protects against neurodegeneration in a mouse model of multiple sclerosis.
eLife. 2021;10:e63140.
<https://doi.org/10.7554/eLife.61798>

4) Hautalterung, Fibroblasten, Wundheilung, UV-Schutz und dermatologische Anwendungen

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Verlängerung der Lebensspanne von Hautfibroblasten	Verbesserung der mitochondrialen Funktion	Zellkultur	[1], [2]
Verringerung zellulärer Seneszenz	Reduktion oxidativen Stresses	Zellkultur	[1], [3]
Verringerung des Seneszenzmarkers β -Galactosidase	Hemmung altersassoziierter Zellveränderungen	Zellkultur	[1]
Verringerung von p16INK4a	Hemmung zellulärer Alterungsprogramme	Zellkultur	[1], [2]
Verringerung von p21	Verminderte Seneszenzinduktion	Zellkultur	[1]
Verbesserung der Fibroblastenproliferation	Erhöhte Energieverfügbarkeit	Zellkultur	[1], [2]
Verbesserung der Fibroblastenmigration	Förderung von Reparaturprozessen	Zellkultur	[4]
Erhöhung der Kollagen-I-Expression	Verbesserte Matrixsynthese	Zellkultur	[2], [6]
Erhöhung der Kollagen-III-Expression	Verbesserte Matrixsynthese	Zellkultur	[2], [6]
Erhöhung der Elastin-Expression	Verbesserte extrazelluläre Matrix	Zellkultur	[2], [6]
Verbesserung der Hautdicke in 3D-Hautmodellen	Erhöhte Matrixbildung	Organmodell	[2]
Verbesserung der Hautfeuchtigkeit	Verbesserte epidermale Struktur	Organmodell	[2]
Schutz vor UVB-induzierten DNA-Schäden	Verringerung oxidativer Schäden	Keratinocyten	[2], [7]
Verringerung von Doppelstrangbrüchen	Verminderte ROS-Belastung	Zellkultur	[2], [7]
Verringerung UV-induzierter Zellalterung	Schutz vor photoinduzierter Seneszenz	Zellkultur	[2], [7]
Verringerung UV-induzierter ROS-Bildung	Antioxidative Wirkung	Zellkultur	[2], [7]
Breitspektrale Absorption von UV-Strahlung	Physikalischer Zusatzmechanismus	experimentell	[2]
Schutz vor Photoaging	Kombination mehrerer Mechanismen	Zellkultur	[2], [7]
Verbesserung der Wundheilung	Förderung von Fibroblastenaktivität	Zellkultur, Tier	[4], [8]
Beschleunigung der Reepithelisierung	Verbesserte Zellmigration	Tier	[8], [9]
Verringerung von Gewebnekrosen nach Verbrennungen	Schutz vor oxidativem Schaden	Tier	[9]
Verbesserung der Angiogenese in Wunden	Sekundäre Gewebeeffekte	Tier	[8]
Schutz von Hautzellen vor oxidativem Stress	Mitochondrien- und NRF2-Effekte	Zellkultur	[1], [2], [3]
Verbesserung von Hutchinson-Gilford-Progerie-Fibroblasten	Korrektur nukleärer und mitochondrialer Defekte	Zellkultur	[10]
Verringerung von Progerin-induzierten Schäden	Verbesserung mitochondrialer Funktion	Zellkultur	[10]

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Wiederherstellung normaler Kernmorphologie	Progerie-Modell	Zellkultur	[10]

Literatur

Fibroblasten, Seneszenz und Hautalterung

[1] Atamna H, Nguyen A, Schultz C et al.
Methylene Blue Delays Cellular Senescence and Enhances Key Mitochondrial Biochemical Pathways.

FASEB Journal. 2008;22(3):703-712.

<https://doi.org/10.1096/fj.07-9610com>

[2] Xue H, Thaivalappil A, Cao K.
The Potentials of Methylene Blue as an Anti-Aging Drug.
Cells. 2021;10(12):3379.

<https://doi.org/10.3390/cells10123379>

[3] Oz M, Lorke DE, Petroianu GA.
Methylene Blue and Cellular Senescence.
Biochemical Pharmacology.

<https://doi.org/10.1002/med.20177>

UV-Schutz und Photoaging

[4] Tardivo JP et al.
Methylene blue in photodynamic therapy: From basic mechanisms to clinical applications.

Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. 2005.

[https://doi.org/10.1016/S1572-1000\(05\)00043-5](https://doi.org/10.1016/S1572-1000(05)00043-5)

[6], [7] Xiong ZM et al.
Anti-Aging Potentials of Methylene Blue for Human Skin Longevity.
Scientific Reports. 2017;7:2475.

<https://doi.org/10.1038/s41598-017-02419-3>

Wundheilung und Gewebereparatur

[8] Hamed E et al.
Photodynamic therapy mediated by methylene blue-loaded PEG accelerates skin mouse wound healing: an immune response.

Lasers in Medical Science, 39(1), 141

<https://doi.org/10.1007/s10103-024-04084-1>

[9] Tardivo JP et al.
Treatment of chronic wounds with methylene blue photodynamic therapy: A case report

Photodiagnosis Photodyn Ther. 2022 Sep;39:103016.

<https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.103016>

Progerie und beschleunigte Alterung

[10] Xiong ZM, O'Donovan M, Sun L et al.
Methylene Blue Alleviates Nuclear and Mitochondrial Abnormalities in Progeria.
Aging Cell. 2016;15(2):279-290.
<https://doi.org/10.1111/ace.12434>

5) Methämoglobinämie, Gefäßwirkungen, Stickstoffmonoxid-System, Guanylatcyclase, Vasoplegie und Schockbehandlung

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Behandlung der Methämoglobinämie	Reduktion von Methämoglobin (Fe ³⁺) zu Hämoglobin (Fe ²⁺)	klinisch etabliert	[1], [2], [3]
Beschleunigung der NADPH-abhängigen Methämoglobinreduktion	Leuko-Methylenblau als Elektronendonator	biochemisch, klinisch	[1], [3]
Wiederherstellung der Sauerstofftransportfähigkeit	Rückbildung von Methämoglobin	klinisch etabliert	[1], [2]
Antidot bei Nitritvergiftungen	Methämoglobinreduktion	klinisch	[1], [3]
Antidot bei Anilinvergiftungen	Methämoglobinreduktion	klinisch	[1], [3]
Antidot bei Dapson-induzierter Methämoglobinämie	Methämoglobinreduktion	klinisch	[2], [4]
Hemmung der löslichen Guanylatcyclase (sGC)	Verminderte cGMP-Bildung	pharmakologisch	[5], [6]
Abschwächung der NO-Signalübertragung	Verminderte Wirkung von Stickstoffmonoxid	pharmakologisch	[5], [6]
Verminderung pathologischer Vasodilatation	Reduzierte cGMP-Signale	klinisch	[5], [7]
Erhöhung des systemischen Gefäßwiderstands	Vasokonstriktorisches Gegeneffekt	klinisch	[5], [8]
Blutdrucksteigerung bei Vasoplegie	NO/cGMP-Hemmung	klinisch	[5], [8], [9]
Behandlung vasoplegischer Syndrome nach Herzoperationen	Hämodynamische Stabilisierung	klinisch	[8], [9]
Unterstützung bei refraktärem septischem Schock	Verminderung überschießender NO-Wirkung	klinisch	[10], [11]
Unterstützung bei anaphylaktischem Schock	Hemmung der NO-vermittelten Vasodilatation	klinisch	[12], [13]
Verringerung des Vasopressorenbedarfs	Hämodynamische Stabilisierung	klinisch	[8], [10]
Verbesserung der Organperfusion bei Vasoplegie	Stabilisierung des Blutdrucks	klinisch	[8], [9]
Hemmung der induzierbaren NO-Synthese (iNOS)	Verringerte NO-Produktion	experimentell	[6], [14]
Hemmung NO-vermittelter Entzündungsreaktionen	Sekundäre Wirkung	experimentell	[6], [14]
Verringerung pathologischer Gefäßpermeabilität	Reduzierte NO-Signalgebung	Tier, klinisch	[10], [13]

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Potenzielle Wirkung bei distributivem Schock	NO/cGMP-Modulation	klinisch	[10], [11]

Literatur

Methämoglobinämie

- [1] Clifton J II, Leikin JB.
Methylene Blue.
American Journal of Therapeutics. 2003;10(4):289–291.
<https://doi.org/10.1097/00045391-200307000-00009>
- [2] Percy MJ, Lappin TR.
Recessive congenital methaemoglobinaemia: cytochrome b5 reductase deficiency.
British Journal of Haematology. 2008;141(3):298-308.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2141.2008.07017.x>
- [3] Wright RO, Lewander WJ, Woolf AD.
Methemoglobinemia: Etiology, Pharmacology and Clinical Management.
Annals of Emergency Medicine. 1999;34(5):646-656.
[https://doi.org/10.1016/S0196-0644\(99\)70167-8](https://doi.org/10.1016/S0196-0644(99)70167-8)
- [4] Coleman MD, Coleman NA.
Drug-induced methaemoglobinaemia. Treatment issues.
Drug Safety. 1996;14(6):394-405.
<https://doi.org/10.2165/00002018-199614060-00005>

Stickstoffmonoxid und Guanylatcyclase

- [5] Mayer B, Brunner F, Schmidt K.
Inhibition of nitric oxide synthesis by methylene blue.
Biochemical Pharmacology. 1993;45(2):367-374.
[https://doi.org/10.1016/0006-2952\(93\)90072-5](https://doi.org/10.1016/0006-2952(93)90072-5)
- [6] Evora PRB et al.
Twenty years of methylene blue in vasoplegic syndrome.
Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular. 2009;24(3):279-288.
<https://doi.org/10.1590/S0102-76382009000400005>
- [7] Preiser JC et al.
Methylene blue administration in septic shock: a clinical trial.
Critical Care Medicine. 1995;23(2):259-264.
<https://doi.org/10.1097/00003246-199502000-00010>

Vasoplegie nach Herzchirurgie

- [8] Leyh RG et al.
Methylene blue: the drug of choice for catecholamine-refractory vasoplegia after cardiopulmonary bypass?
Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 2003;125(6):1426-1431.
[https://doi.org/10.1016/S0022-5223\(02\)73283-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(02)73283-9)

[9] Maslow AD et al.
Methylene blue for vasoplegic syndrome after cardiac surgery.
Anesthesia & Analgesia. 2006;102(2):426-431.
<https://doi.org/10.1213/01.ane.0000189620.88290.9f>

Septischer Schock

[10] Kwok ESH, Howes D.
Use of methylene blue in sepsis: a systematic review.
Journal of Intensive Care Medicine. 2006;21(6):359-363.
<https://doi.org/10.1177/0885066606290671>

[11] Donati A et al.
Methylene blue in septic shock.
Critical Care Medicine. 2002;30(10):2271-2277.
<https://doi.org/10.1097/00003246-200210000-00015>

Anaphylaxie und distributiver Schock

[12] Jang DH, Nelson LS, Hoffman RS.
Methylene blue for distributive shock: a potential new use of an old antidote.
Journal of Medical Toxicology. 2013;9(3):242-249.
<https://doi.org/10.1007/s13181-013-0298-7>

[13] Lo JC, Darracq MA, Clark RF.
A review of methylene blue treatment for cardiovascular collapse.
J Emerg Med. 2014 May;46(5):670-9.
<https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2013.08.102>

NO-Synthese und Entzündungsmechanismen

[14] Zhang H, Rogiers P, Preiser JC et al.
Effects of methylene blue on oxygen availability and regional blood flow during endotoxic shock.
Critical Care Medicine. 1995;23(10):1711-1721.
<https://doi.org/10.1097/00003246-199510000-00016>

6) Onkologie, Tumormetabolismus und photodynamische Therapie (PDT)

A. Tumormetabolismus und mitochondriale Tumورهemmung

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Reaktivierung mitochondrialer Atmung in Tumorzellen	Verbesserung des Elektronentransports	Zellkultur	[1], [2]
Verminderung des Warburg-Effekts	Verlagerung von anaerober zu aerober Energiegewinnung	Zellkultur	[1], [3]
Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs von Tumorzellen	Verbesserte mitochondriale Funktion	Zellkultur	[1]
Erhöhung der ATP-Produktion in Tumorzellen	Wiederherstellung oxidativer Energiegewinnung	Zellkultur	[1], [2]
Verringerung glykolytischer Abhängigkeit	Stoffwechsel-Reprogrammierung	Zellkultur	[1], [3]

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Verminderung der Tumorproliferation	Sekundäre Folge metabolischer Veränderungen	Zellkultur	[1]
Verringerung der Tumorgröße		Tiermodell	[1]
Hemmung des Tumorwachstums		Tiermodell	[1], [2]
Erhöhung mitochondrialer Sauerstoffverwertung	Verbesserte Atmungskettenaktivität	Zellkultur	[1]
Verringerung der metabolischen Plastizität von Tumoren	Eingriff in die Energiebereitstellung	experimentell	[1], [3]

B. Photodynamische Therapie (PDT)

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Photosensibilisierung von Tumorzellen	Lichtaktiviertes MB	Zellkultur, Tier, Human	[4], [5]
Bildung von Singulett-Sauerstoff	Energieübertragung auf molekularen Sauerstoff	photochemisch	[4], [6]
Bildung weiterer ROS	Photodynamischer Effekt	photochemisch	[4], [6]
Direkte Tumorzellabtötung	Oxidative Schädigung	Zellkultur, Tier	[4], [7]
Auslösung von Apoptose	Mitochondriale Schäden	Zellkultur	[4], [8]
Auslösung von Nekrose	Massive oxidative Schädigung	Zellkultur, Tier	[4], [8]
Schädigung der Tumolvaskularisation	Endothelschädigung	Tier	[4], [9]
Verringerung der Tumordurchblutung	Gefäßzerstörung	Tier	[4], [9]
Immunogene Tumorzellabtötung	Freisetzung von DAMPs	Tier	[4], [10]
Aktivierung antitumoraler Immunantworten	Sekundärer PDT-Effekt	Tier	[10], [11]
Wirkung gegen solide Tumoren	Mehrere Tumorarten	Tier, Human	[4], [5]
Wirkung gegen oberflächliche Tumoren	Klinische Anwendung	Human	[5], [12]
Wirkung gegen orale Karzinome	Klinische Studien	Human	[12], [13]
Wirkung gegen Hauttumoren	Klinische Studien	Human	[12], [13]
Wirkung gegen Brustkrebszelllinien	PDT	Zellkultur	[4], [14]
Wirkung gegen Gliomzellen	PDT	Zellkultur	[4], [15]
Wirkung gegen Kolonkarzinomzellen	PDT	Zellkultur	[4], [16]

Literatur

Tumormetabolismus

- [1] da Veiga Moreira J, Nleme N, Schwartz L, Leclerc-Desaulniers K, Carmona E, Mes-Masson AM, Jolicoeur M.
Methylene Blue Metabolic Therapy Restrains In Vivo Ovarian Tumor Growth.
Cancers (Basel). 2024 Jan 13;16(2):355.
<https://doi.org/10.3390/cancers16020355>
- [2] Atamna H, Kumar R.
Protective Role of Methylene Blue in Alzheimer's Disease via Mitochondria and Cytochrome c Oxidase
Journal of Alzheimer's Disease. 2010;20(Suppl 2):S439-S452.
<https://doi.org/10.3233/JAD-2010-100414>
- [3] Warburg O.
On the Origin of Cancer Cells.
Science. 1956;123(3191):309-314.
<https://doi.org/10.1126/science.123.3191.309>

Photodynamische Therapie

- [4] Taldaev A, et al.
Methylene blue in anticancer photodynamic therapy: systematic review of preclinical studies.
Frontiers in Pharmacology. 2023.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1264961>
- [5] Tardivo JP, Del Giglio A, de Oliveira CS et al.
Methylene Blue in Photodynamic Therapy: From Basic Mechanisms to Clinical Applications.
Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. 2005;2(3):175-191.
[https://doi.org/10.1016/s1572-1000\(05\)00097-9](https://doi.org/10.1016/s1572-1000(05)00097-9)
- [6] Wainwright M.
Methylene Blue Derivatives – Suitable Photoantimicrobials for Blood Product Disinfection?
International Journal of Antimicrobial Agents. 2000;16(4):381-394.
[https://doi.org/10.1016/s0924-8579\(00\)00207-7](https://doi.org/10.1016/s0924-8579(00)00207-7)
- [7] Dos Santos AF, Terra LF, Wailemann RA, Oliveira TC, et al.
Methylene blue photodynamic therapy induces selective and massive cell death in human breast cancer cells.
BMC Cancer. 2017 Mar 15;17(1):194.
<https://doi.org/10.1186/s12885-017-3179-7>
- [8] Almeida RD, Manadas BJ, Carvalho AP, Duarte CB.
Intracellular Signaling Mechanisms in Photodynamic Therapy.
Biochimica et Biophysica Acta. 2004;1704(2):59-86.
<https://doi.org/10.1016/j.bbcan.2004.05.003>

[9] Henderson BW, Dougherty TJ.
How Does Photodynamic Therapy Work?
Photochemistry and Photobiology. 1992;55(1):145-157.
<https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1992.tb04222.x>

[10] Garg AD, Agostinis P.
Cell Death and Immunity in Cancer Photodynamic Therapy.
Photochemical & Photobiological Sciences. 2014;13(3):474-487.
<https://doi.org/10.1039/C3PP50334C>

[11] Castano AP, Demidova TN, Hamblin MR.
Mechanisms in Photodynamic Therapy: Part Three—Photosensitizers,
Photochemistry and Cellular Localization.
Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. 2005;2(2):91-106.
[https://doi.org/10.1016/S1572-1000\(05\)00060-8](https://doi.org/10.1016/S1572-1000(05)00060-8)

Klinische PDT-Anwendungen

[12] Tardivo JP et al.
New Photodynamic Therapy Protocol to Treat AIDS-Related Kaposi's Sarcoma
Photomedicine and Laser Surgery. 2006.
<https://doi.org/10.1089/pho.2006.24.528>

[13] Allison RR, Moghissi K.
Photodynamic Therapy (PDT): PDT Mechanisms.
Clinical Endoscopy 2013. 46(1):24-29
<https://doi.org/10.5946/ce.2013.46.1.24>

[14] Czarnecka-Czapczyńska M et al.
The role of photodynamic therapy in breast cancer – A review of in vitro research.
Biomedicine & Pharmacotherapy. 2021. 144
<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112342>

[15] Cesca BA, Pellicer San Martin K, Caverzan MD, Oliveda PM, Ibarra LE.
State-of-the-art photodynamic therapy for malignant gliomas: innovations in
photosensitizers and combined therapeutic approaches.
Explor Target Antitumor Ther. 2025 Mar 28;6:1002303.
<https://doi.org/10.37349/etat.2025.1002303>

[16] A. E. Özdemir, E. Aksoy and M. Z. Yildiz
In vitro Effect of Methylene Blue Mediated Photodynamic Therapy on HT-29 Colon
Cancer Cell Lines Using LED.
2018 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO), Magusa, Cyprus, 2018,
pp. 1-4,
<https://doi.org/10.1109/TIPTEKNO.2018.8597056>

Die onkologische Literatur zeigt zwei bemerkenswert unterschiedliche Wirkprofile:

Sehr gut etabliert

- Photosensibilisierung
- Singulett-Sauerstoff-Bildung
- PDT-induzierte Tumorzellabtötung
- Antimikrobielle PDT

Noch experimentell

- Reprogrammierung des Tumorstoffwechsels
- Aufhebung des Warburg-Effekts
- Nicht-photodynamische Tumorchemmung
- Direkte antikanzerogene Wirkung ohne Lichtaktivierung

Gerade der zweite Bereich hat in den letzten Jahren deutlich an Interesse gewonnen, weil er unmittelbar aus den mitochondrialen Wirkungen von Methyleneblau hervorgeht und unabhängig von einer Lichtaktivierung funktioniert.

7) Antimikrobielle, antivirale, antiparasitäre und antiinfektiöse Wirkungen

Die antiinfektiösen Eigenschaften von Methyleneblau gehören historisch zu den ältesten bekannten Wirkungen. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts wurde MB gegen Malaria untersucht. Heute stehen insbesondere photodynamische Anwendungen sowie die Pathogeninaktivierung von Blutprodukten im Vordergrund.

A. Antibakterielle Wirkungen

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Antibakterielle Wirkung gegen grampositive Bakterien	Oxidative Schädigung bakterieller Strukturen	Zellkultur	[1], [2]
Antibakterielle Wirkung gegen gramnegative Bakterien	Photodynamische ROS-Bildung	Zellkultur	[1], [3]
Schädigung bakterieller Zellmembranen	ROS-induzierte Lipidperoxidation	Zellkultur	[2], [4]
Schädigung bakterieller DNA	Oxidative DNA-Schäden	Zellkultur	[2], [4]
Schädigung bakterieller Proteine	Oxidation funktioneller Aminosäuren	Zellkultur	[1], [4]
Wirkung gegen multiresistente Erreger	Unspezifische ROS-Wirkung	Zellkultur	[5], [6]
Wirkung gegen MRSA	PDT-vermittelt	Zellkultur, Tier	[5], [6]
Wirkung gegen Biofilme	ROS-Penetration in Biofilmstrukturen	Zellkultur	[6], [7]
Reduktion bakterieller Last in Wunden	PDT-vermittelt	Tier, Human	[8], [9]

B. Antivirale Wirkungen

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Referenzen
Inaktivierung behüllter Viren	Oxidative Schädigung viraler Hüllen	Zellkultur	[10], [11]
Inaktivierung unbehüllter Viren	Nukleinsäureschäden	Zellkultur	[10], [12]
Schädigung viraler RNA	Oxidative Modifikation	Zellkultur	[11], [13]

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Referenzen
Schädigung viraler DNA	Oxidative Modifikation	Zellkultur	[11], [13]
Pathogeninaktivierung in Blutprodukten	Lichtaktiviertes MB	klinisch etabliert	[14], [15]
Inaktivierung von HIV	Blutprodukt-Sicherheit	Zellkultur, klinisch	[14], [16]
Inaktivierung von Hepatitisviren	Blutprodukt-Sicherheit	Zellkultur, klinisch	[14], [12]
Inaktivierung von West-Nile-Virus	Blutprodukt-Sicherheit	Zellkultur	[14], [18]
Inaktivierung von SARS-CoV-2	experimentell	Zellkultur	[19], [20]

C. Antimykotische Wirkungen

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Wirkung gegen <i>Candida albicans</i>	PDT-vermittelte ROS-Bildung	Zellkultur	[21], [22]
Wirkung gegen <i>Candida</i> -Biofilme	Oxidative Zellschädigung	Zellkultur	[22]
Wirkung gegen Dermatophyten	PDT-vermittelt	Zellkultur	[24]
Wirkung gegen resistente Hefen	Unspezifischer oxidativer Mechanismus	Zellkultur	[22]

D. Antiparasitäre Wirkungen

Wirkung	Mechanismus	Evidenz	Lit.
Wirkung gegen <i>Plasmodium</i> spp. (Malaria)	Hemmung parasitärer Redoxsysteme	Zellkultur, Tier, Human	[25], [26]
Wirkung gegen chloroquinresistente Malaria	Alternativer Wirkmechanismus	Zellkultur	[26], [27]
Wirkung gegen <i>Leishmania</i> spp.	Oxidative Schädigung	Zellkultur	[28]
Wirkung gegen Trypanosomen	Redoxstörung	Zellkultur	[29]

Literatur

Antibakterielle Wirkungen

- [1] Wainwright M.
Methylene Blue Derivatives – Suitable Photoantimicrobials for Blood Product Disinfection?
International Journal of Antimicrobial Agents. 2000;16(4):381-394.
[https://doi.org/10.1016/s0924-8579\(00\)00207-7](https://doi.org/10.1016/s0924-8579(00)00207-7)
- [2] Hamblin MR, Hasan T.
Photodynamic therapy: a new antimicrobial approach to infectious disease?
Photochemical & Photobiological Sciences. 2004;3(5):436-450.
<https://doi.org/10.1039/B311900A>

- [3] Maisch T.
Anti-microbial Photodynamic Therapy: Useful in the Future?
Lasers in Medical Science. 2007;22(2):83-91.
<https://doi.org/10.1007/s10103-006-0409-7>
- [4] Wainwright M, Crossley KB.
Photosensitising Agents—Circumventing Resistance and Breaking Down Biofilms.
International Biodeterioration & Biodegradation. 2004;53(2):119-126.
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2003.11.006>
- [5] Tegos GP et al.
Inhibitors of Bacterial Multidrug Efflux Pumps Potentiate Antimicrobial Photoinactivation.
Antimicrobial Agents and Chemotherapy. 2008 May 12;52(9):3202–3209.
<https://doi.org/10.1128/AAC.00006-08>
- [6] Tavares A et al.
Antimicrobial Photodynamic Therapy: Study of Bacterial Recovery Viability and Potential Development of Resistance after Treatment.
Mar. Drugs **2010**, *8*(1), 91-105.
<https://doi.org/10.3390/md8010091>
- [7] de Melo WC et al.
Photodynamic inactivation of biofilm: taking a lightly colored approach to stubborn infection.
Expert Rev Anti Infect Ther. 2013 Jul;11(7):669-93..
<https://doi.org/10.1586/14787210.2013.811861>
- [8] Dai T, Bil de Arce VJ, Tegos GP, Hamblin MR.
Blue dye and red light, a dynamic combination for prophylaxis and treatment of cutaneous *Candida albicans* infections in mice.
Antimicrob Agents Chemother. 2011 Dec;55(12):5710-7.
<https://doi.org/10.1128/aac.05404-11>
- [9] Huang L, Dai T, Hamblin MR.
Antimicrobial photodynamic inactivation and photodynamic therapy for infections.
Methods Mol Biol. 2010;635:155-73..
https://doi.org/10.1007/978-1-60761-697-9_12

Antivirale Wirkungen

- [10] Floyd RA et al.
Methylene blue photoinactivation of RNA viruses.
Antiviral Res. 2004 Mar;61(3):141-51.
<https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2003.11.004>
- [11] Wainwright M.
Methylene Blue Derivatives – Suitable Photoantimicrobials for Blood Product Disinfection?
International Journal of Antimicrobial Agents. 2000;16(4):381-394.
[https://doi.org/10.1016/s0924-8579\(00\)00207-7](https://doi.org/10.1016/s0924-8579(00)00207-7)

- [12] Mohr H et al.
Virus Inactivation of Plasma by Methylene Blue / Light Exposure.
Pediatr Res 45, 946 (1999).
<https://doi.org/10.1203/00006450-199906000-00289>
- [13] Lambrecht B et al.
Photoinactivation of Viruses in Human Fresh Plasma by Phenothiazine Dyes in Combination with Visible Light.
Vox Sanguinis. 1991;60(4):207-213.
<https://doi.org/10.1111/j.1423-0410.1991.tb00907.x>
- [14] Wagner SJ.
Virus Inactivation in Blood Components by Methylene Blue.
Transfusion Medicine Reviews. 2002;16(1):61-66.
<https://doi.org/10.1053/tmrv.2002.29405>
- [15] Williamson LM et al.
Methylene blue-treated fresh-frozen plasma: what is its contribution to blood safety?
Transfusion. 2003 Sep;43(9):1322-9.
<https://doi.org/10.1046/j.1537-2995.2003.00483.x>
- [16] Lin L et al.
Photochemical Inactivation of HIV in Plasma.
Blood. 1993;82(8):2426-2432.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8324230/>
- [18] Hong Liu, Xun Wang,
Pathogen reduction technology for blood component: A promising solution for prevention of emerging infectious disease and bacterial contamination in blood transfusion services.
Journal of Photochemistry and Photobiology. 2021;8.
<https://doi.org/10.1016/j.jpap.2021.100079>
- [19] Bojadzic D et al.
Methylene Blue Inhibits the SARS-CoV-2 Spike-ACE2 Protein-Protein Interaction-a Mechanism that can Contribute to its Antiviral Activity Against COVID-19.
Front Pharmacol. 2021 Jan 13;11:600372.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2020.600372>
- [20] Cagno V et al.
Methylene Blue has a Potent Antiviral Activity Against SARS-CoV-2.
Scientific Reports. 2021;11:14270.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-92481-9>

Antimykotische Wirkungen

- [21] Giroldo LM et al.
Photodynamic antimicrobial chemotherapy (PACT) with methylene blue increases membrane permeability in *Candida albicans*
Lasers in Medical Science. 2009 Jan;24(1):109-12.
<https://doi.org/10.1007/s10103-007-0530-2>

[22] Lyon JP et al.
Photodynamic therapy for pathogenic fungi.
Mycoses. 2011;54: e265-71.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0507.2010.01966.x>

[24] Baltazar LM et al.
Antimicrobial photodynamic therapy: an effective alternative approach to control fungal infections.
Frontiers in Microbiology. 2015;6:202.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00202>

Antiparasitäre Wirkungen

[25] Ehrlich P, Guttman P.
Über die Wirkung des Methylenblaus bei Malaria.
Berliner Klinische Wochenschrift. 1891.
<https://www.pei.de/SharedDocs/Downloads/DE/institut/veroeffentlichungen-von-paul-ehrlich/1886-1896/1891-wirkung-methylenblau-malaria.pdf>

[26] Akoachere M et al.
In vitro assessment of methylene blue on chloroquine-sensitive and -resistant Plasmodium falciparum strains reveals synergistic action with artemisinins.
Antimicrob Agents
Chemother. 2005 Nov;49(11):4592-7.
<https://doi.org/10.1128/aac.49.11.4592-4597.2005>

[27] Meissner PE et al.
Efficacy and safety of methylene blue in the treatment of malaria: a systematic review.
BMC Med. 2018 Apr 25;16(1):59.
<https://doi.org/10.1186/s12916-018-1045-3>

[28] Sbeghen MR et al.
Topical and Intradermal Efficacy of Photodynamic Therapy with Methylene Blue and Light-Emitting Diode in the Treatment of Cutaneous Leishmaniasis Caused by *Leishmania braziliensis*.
J Lasers Med Sci. 2015 Summer;6(3):106-11.
<https://doi.org/10.15171/jlms.2015.03>

[29] Wainwright M.
Phenothiazinium Dyes Are Active against *Trypanosoma cruzi* In Vitro.
BioMed Research International, 2019, 8301569,
<https://doi.org/10.1155/2019/8301569>