

Bakterien effizient und nachhaltig töten

Elektrokatalytische Sterilisierung: Nanodrähte erzeugen lokale hochalkalische Mikroumgebungen

Schädliche Mikroorganismen, wie Bakterien, stellen eine der größten Bedrohungen für die menschliche Gesundheit dar. Entsprechend wichtig sind effiziente Sterilisierungsmethoden. In der Zeitschrift Angewandte Chemie stellt ein Forschungsteam jetzt eine neuartige, nachhaltige elektrokatalytische Sterilisierungsstrategie vor, die auf Elektroden mit Kupferoxid-Nanodrähten basiert. Diese erzeugen lokal sehr starke elektrische Felder und in der Folge hochalkalische Mikroumgebungen, die Bakterien effizient abtöten.

Herkömmliche Desinfektionsmethoden, wie Chlorierung, Ozonierung, Wasserstoffperoxid (H_2O_2)-Oxidation und ultraviolette Bestrahlung haben Nachteile, darunter schädliche Nebenprodukte und hohen Energieverbrauch. Elektrochemische Desinfektionsmethoden, die sich in erster Linie auf ein gepulstes elektrisches Hochspannungsfeld und die elektrokatalytische Erzeugung hochoxidativer Radikale stützen, sind effizienter und umweltfreundlicher. Da sie jedoch entweder hohe Spannungen oder eine erhebliche Gaszufuhr benötigen, ist ihre breite Anwendung in der Praxis deutlich einschränkt.

Das Team um Tong Sun und Yuanhong Xu von der Universität Qingdao (China) schlägt jetzt eine neuartige in situ elektrokatalytische Sterilisationsstrategie vor, die in neutralen Elektrolyten bei einem konstanten Strom und einer relativ niedrigen Spannung lokalisierte hochalkalische Mikroumgebungen bildet. Die meisten Bakterien können in solchen extrem alkalischen Umgebungen nicht überleben.

Das Erfolgsgeheimnis sind Kathoden aus einem Kupferdrahtgeflecht, das mit Kupferoxid-Nanodrähten bedeckt ist. An solchen hochgekrümmten Strukturen – den Spitzen der Nanodrähte – bilden sich extrem starke lokale elektrische Felder und Elektrokatalysatoren können besonders effektiv arbeiten. An der Kathode erleichtert die Wasserstoffentwicklungsreaktion (HER) die effiziente Adsorption von Hydroniumionen (H_3O^+) durch die Nanodrähte, was zu einem schnellen Anstieg der Hydroxidionenkonzentration (OH^-) in ihrer unmittelbaren Umgebung führt. So entsteht eine lokalisierte hochalkalische Mikroumgebung. Der Gesamt-pH-Wert der Sterilisationslösung wird dabei nur geringfügig erhöht, sodass keine aufwendige Neutralisierung vor deren Entsorgung der notwendig ist.

Die entstehende hochalkalische Mikroumgebung tötet Bakterien innerhalb von wenigen Minuten ab, wie das Team anhand von *Escherichia coli* (*E. coli*) zeigte. Ursache ist der Zusammenbruch des Protonentransports über die bakterielle Zellmembran, da in diesem Milieu praktisch keine Protonen mehr vorhanden sind. Dies hemmt die Synthese von ATP, verursacht einen Energiemangel und löst oxidativen Stress aus. Zudem wird das für Genregulation und Metabolismus wichtige NADPH/NAD⁺-Gleichgewicht gestört. Die Bakterien sterben ab.

Der neue Ansatz könnte ein Ausgangspunkt für die Entwicklung leistungsstarker nanostrukturierter Elektrokatalysatoren für effiziente, umweltfreundliche und sichere elektrochemische Desinfektionsstrategien für eine Vielzahl von Sterilisationsanwendungen sein.

Originalpublikation:

<https://doi.org/10.1002/ange.202424067>