



Toxikologie –

Die Dosis macht das Gift

Foto: Adobe Stock/Brian Jackson

Toxikologie untersucht die schädlichen Wirkungen von Stoffen auf lebende Organismen. Im medizinischen Alltag wird sie häufig mit akuten Vergiftungen verbunden – Arzneimittelüberdosierungen, Kohlenmonoxid, Pilze, Pflanzen, Haushaltschemikalien, Drogen. Ihr Beitrag zur öffentlichen Gesundheit reicht jedoch weiter; er liegt vor allem darin, zu erkennen, unter welchen Bedingungen ein Stoff die Gesundheit schädigen kann.

Ein toxischer Effekt liegt vor, wenn ein Stoff biologische Funktionen so stört, dass gesundheitliche Beeinträchtigungen eintreten. Entscheidend sind nicht nur der Stoff selbst, sondern auch Dosis, Expositionswege und -dauer, Bioverfügbarkeit, Metabolismus und individuelle Empfindlichkeit.

Dosis, Gefahr und Risiko

„Allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist.“ Paracelsus hat diesen Satz im 16. Jahrhundert formuliert. Er gilt noch immer. Giftigkeit lässt sich ohne Bezug zur Exposition nicht sinnvoll beurteilen. Auch lebensnotwendige Stoffe können in zu hoher Dosis schädlich sein; andere sind bereits in niedrigen Dosen gefährlich.

Toxikologie unterscheidet konsequent zwischen Gefahr (englisch: hazard) und Risiko. Gefahr beschreibt, was ein Stoff grundsätzlich bewirken kann. Risiko beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit und mit welcher Schwere ein Schaden unter realen Expositionsbedingungen zu erwarten ist. Ein hochpotentes Gift kann bei geschlossener technischer Handhabung ein geringes Risiko darstellen. Umgekehrt kann ein weniger gefährlicher Stoff relevant werden, wenn Menschen ihm in ausreichender Dosis ausgesetzt sind. Diese Unterscheidung schützt vor Verharmlosung realer Expositionen, aber auch vor Alarmismus. Gerade außerhalb fachlicher Bewertungsverfahren wird Letzteres zunehmend relevant. Öffentliche Debatten, gesellschaftliche Erwartungen und politische Forderungen können toxikologische Fragen verzerren und Kapazitäten binden, die an ande-

rer Stelle wirksamer eingesetzt wären. Deshalb ist die verständliche Kommunikation toxikologischer Prinzipien heute kein Nebenaspekt, sondern gehört zu den Kernaufgaben.

Prävention und Produktentwicklung

Moderne Toxikologie reicht von der präklinischen Sicherheitsbewertung neuer Arzneimittel bis zur Beurteilung von Arbeitsplatz- und Umweltexpositionen, Lebensmittelkontaminanten und Industriechemikalien. Besonders relevant wird dies, wo viele Menschen über lange Zeiträume exponiert sind: Feinstaub schädigt die Atemwege; Blei beeinträchtigt die kindliche Neuroentwicklung; Asbest verursacht noch Jahrzehnte nach der Exposition Mesotheliome und Lungenkrebs – ein Befund, der die Bedeutung langer Latenzzeiten für die toxikologische Bewertung illustriert. Hier begründet die Toxikologie Grenzwerte, Substitutionsentscheidungen, Schutzmaßnahmen und Verbote.

Neue Stoffe, neue Methoden

Neuartige Materialien – sogenannte advanced materials – müssen ebenso bewertet werden wie bekannte Stoffe, die sich als langlebig und mobil erweisen. Dazu gehören PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) sowie Mikro- und Nanoplastik. Eine Bewertung, die sich auf eine Einzelsubstanz und einen einzelnen Endpunkt beschränkt, greift hier zu kurz. Persistenz, Verteilung, Partikelwirkung, Zusatzstoffe und langfristige Exposition müssen berücksichtigt werden und es kann sinnvoll sein, mehrere Stoffe in einer Gruppe gemeinsam zu betrachten.



Gleichzeitig steht das Fach im Übergang zu neuen, tierversuchsfreien Methoden, sogenannten New Approach Methods, NAMs. In-vitro-Tests mit humanen Zellen, rekonstruierten Geweben und Organoiden, Omics-Analysen und computergestützte Verfahren gewinnen an Bedeutung. Festzuhalten bleibt dennoch: Tierversuche haben über Jahrzehnte wesentlich zum Schutz von Mensch und Umwelt beigetragen, und viele Bewertungen beruhen bis heute auf deren Daten. Der Übergang ist kein einfacher Austausch einzelner Tests, sondern ein kontrollierter Umbau des gesamten Bewertungssystems.

Daten, Modelle, Entscheidungen

Genomik, Transkriptomik, Proteomik, bildgebende Verfahren und große Testbatterien liefern umfangreiche Daten zu molekularen und zellulären Veränderungen durch Fremdstoffe. Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen helfen, Muster zu erkennen und große Datensätze nutzbar zu machen. Regulatorische Entscheidungen erfordern jedoch zusätzlich nachvollziehbare Modelle, Qualitätskriterien und klare Regeln für den Umgang mit Unsicherheit. Mehr Daten bedeuten nicht automatisch belastbarere Entscheidungen.

Ein besonderer Unterschied zur kurativen Medizin besteht darin, dass die Toxikologie häufig beurteilen muss, was sie aus ethischen Gründen nicht direkt messen darf: die schäd-

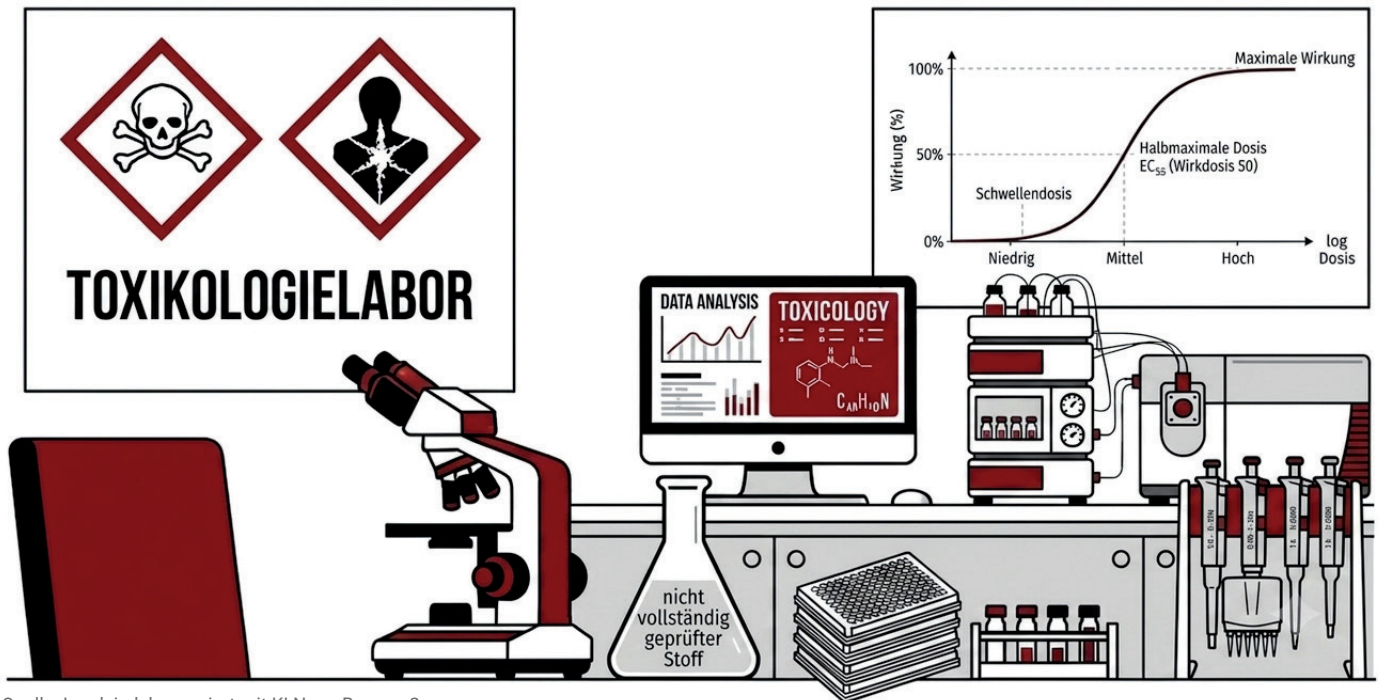
liche Wirkung eines Stoffes am Menschen. Sie arbeitet daher mit Modellen – Tierstudien, Zellkulturen, epidemiologischen Daten, Humanbiomonitoring und toxikokinetischen Modellen. Jedes davon beantwortet Teilfragen. Zusammen ermöglichen sie toxikologische Bewertungen als Grundlage für Prävention oder Behandlung.

Regulatorische Bewertung

Regulatorische Toxikologie übersetzt Daten in Entscheidungen. Sie fragt nicht nur, ob ein Effekt beobachtet wurde, sondern ob er advers, reproduzierbar, mechanistisch plausibel und für den Menschen relevant ist. Aus Dosis-Wirkungs-Daten werden so Grenzwerte abgeleitet: Arbeitsplatzgrenzwerte, duldbare Aufnahmemengen oder Rückstandshöchstgehalte, ebenso wie die Abschätzung von Risiken und Eingriffsschwellen bei unvermeidbaren Expositionen. Bei genotoxischen Kanzerogenen lässt sich oft keine klare Wirkungsschwelle definieren. Dann wird nicht zwischen „sicher“ und „unsicher“ unterschieden, sondern eine Risikohöhe bewertet.

Toxikologie in der Medizin

Toxikologie ist interprofessionell. Neben Ärzten arbeiten Chemiker, Biologen, Pharmazeuten, Veterinäre sowie Fachleute aus Epidemiologie, Statistik, Bioinformatik und Materialwissenschaft daran, Stoffwirkungen zu verstehen und



Quelle: Landsiedel, generiert mit KI Nano Banana 2

Risiken zu bewerten. Für Ärzte ist Toxikologie in mehreren Bereichen relevant. In der Akutmedizin geht es um das Erkennen und Behandeln von Vergiftungen. In der Arbeitsmedizin um Gefahrstoffexpositionen, Vorsorge, Biomonitoring und Berufskrankheiten. Auch in Allgemeinmedizin, Pädiatrie, Onkologie, Reproduktionsmedizin, Pneumologie, Dermatologie, Neurologie und Allergologie spielen toxikologische Mechanismen eine wesentliche Rolle – auch wenn sie dort nicht immer so benannt werden.

Ein kleines Fach mit breiter Wirkung

Der Facharzt für Pharmakologie und Toxikologie ist selten. Nach der Ärztestatistik 2025 gibt es bundesweit 312 Fachärzte, davon 14 in Rheinland-Pfalz. Diese geringe Zahl steht in deutlichem Gegensatz zur Breite der Aufgaben. Toxikologische Expertise wird in Kliniken, Universitäten, Giftinformationszentren, Behörden, Industrie, Forschung, Arzneimittelentwicklung, Chemikaliensicherheit und Arbeitsschutz benötigt. Fachliche Anlaufstellen sind die Gesellschaft für Toxikologie sowie die deutsche Gesellschaft für experimentelle und klinische Pharmakologie und Toxikologie.

Fazit

Toxikologie verbindet Medizin, Chemie, Molekular- und Zellbiologie, Forschung, Industrie und regulatorische Behörden durch eine gemeinsame Aufgabe: belastbare Entscheidungen unter unvollständiger Evidenz zu ermöglichen. Sie führt Erkenntnisse zu biologischen Wirkungen, Stoffeigenschaften und Expositionen zusammen und bewertet deren Bedeutung für die menschliche Gesundheit. Auf dieser Grundlage werden Präventionsmaßnahmen ergriffen, sicherere Produkte entwickelt und Risiken für die öffentliche Gesundheit vermindert. Damit leistet die Toxikologie, neben der Medizin, einen eigenständigen Beitrag zum Gesundheitsschutz. Die Medizin behandelt häufig sichtbare Schäden. Die Toxikologie hilft, Gesundheitsschäden durch Stoffexposition zu vermeiden, bevor sie klinisch sichtbar oder statistisch auffällig werden. Das macht ihren Nutzen schwer messbar, mindert ihn aber nicht.

Literatur bei den Autoren

Autoren



Foto: privat

*Prof. Dr. rer. nat.
Robert Landsiedel
Vorsitzender der deutschen
Gesellschaft für Toxikologie,
Vicepräsident Experimentelle
Toxikologie und Ökologie der
BASF SE in Ludwigshafen*



Foto: BfR

*Dr. rer. nat. Tewes Tralau
Vorstandsmitglied der
deutschen Gesellschaft
für Toxikologie
Vizepräsident des
Bundesinstituts für
Risikobewertung (BfR)
Berlin*



Foto: Christian Reister/reister-portraits.de

*Dr. rer. nat. Ute Haßmann
Wissenschaftliche Redakteurin
der deutschen Gesellschaft
für Toxikologie
Managing Director der
Toxlicon GmbH Berlin*