

Digitalisierung und künstliche Intelligenz in der Tierhaltung

Nadine E. Sündermann, Mirko Lampe und Janine Kah

Die fortschreitende Digitalisierung und der Einsatz von künstlicher Intelligenz bieten ein großes Transformationspotential für die tierexperimentelle Forschung. Diese Technologien können die Haltung und Überwachung von Versuchstieren erheblich verbessern, wodurch nicht nur das Tierwohl gefördert, sondern auch die Forschungseffizienz gesteigert werden kann. Der vorliegende Artikel beschreibt die Möglichkeiten und Potentiale der Digitalisierung in der Bestandstierhaltung am Beispiel des Fernüberwachungssystems iMouse.

Der Weg der Digitalisierung, mit besonderem Fokus auf den Heimkäfig (home cage), wird im europäischen Raum seit 2019 innerhalb der COST TeaTime Initiative ^[1], einem Zusammenschluss von führenden Wissenschaftlern, Ingenieuren und Ethikexperten aus verschiedenen europäischen Ländern, gemeinsam verfolgt, indem verschiedene Systeme der automatisierten Überwachung von Heimkäfigen verglichen und beurteilt werden. Leider ist es in Tierhaltungen immer noch gängiges Handeln, dass nachtaktive Fluchttiere tagsüber in ihrer Ruhephase für die Gesundheitskontrolle aus dem Käfig genommen und manuell beurteilt werden. Diese Art der Observation verursacht Stress bei den Tieren und stellt eine Fehlerquelle dar, die von digitalen Lösungen größtenteils vermieden werden kann.

Vorteile von home-cage-Überwachungssystemen

Die Integration digitaler Überwachungssysteme bietet zahlreiche Vorteile, die neben dem Tierschutz und einer umfangreichen Datenerfassung samt -analyse auch die Verbesserung der Forschungsqualität betreffen.

Überwachung und Pflege der Tiere

Automatisierte, von künstlicher Intelligenz (KI) unterstützte Systeme werden in Zukunft eine kontinuierliche und präzise Überwachung des Gesundheitszustands und des Verhaltens der Tiere ermöglichen. Durch eine Echtzeitdatenerfassung können abweichende Verhaltensweisen und gesundheitliche Probleme frühzeitig erkannt und adressiert werden. Solche Systeme werden dazu beitragen, die Interventionszeiten zu verkürzen und die Genauigkeit der Beobachtungen signifikant zu erhöhen.

Datenanalyse und -management

Die Integration von Big Data und maschinellem Lernen ermöglicht eine umfassende Analyse der gesammelten Daten, um Muster zu erkennen, die zur Optimierung der Tierpflege und zur Minimierung von Stress und Leid führen. Weiterhin unterstützen digitale Datenbanken und Management-Tools eine effiziente Planung und Durchführung wissenschaftlicher Experimente. Erste digitale Biomarker wurden entwickelt, weitere werden folgen.

Verbesserung der Forschungsqualität und Reduktion der Tierzahlen

Durch den Einsatz von Simulationsmodellen und Machine Learning können die Anzahl der benötigten Tiere reduziert und die Aussagekraft der Ergebnisse optimiert werden. Diese Technologien ermöglichen es, viele vorbereitende Tests zu simulieren, wodurch künftig weniger Tiere benötigt und ethische Standards besser eingehalten werden können.

Ethische Aspekte und Regelkonformität

Digitale Systeme können in Zukunft die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften durch automatisierte Berichte unterstützen und verbessern damit signifikant die Transparenz und Rückverfolgbarkeit in der tierexperimentellen Forschung. Dies fördert das öffentliche Vertrauen, bestärkt die Behörden bei der Entscheidungsfindung und unterstützt die Forschungsgemeinschaft, ethische Praktiken konsequent umzusetzen.

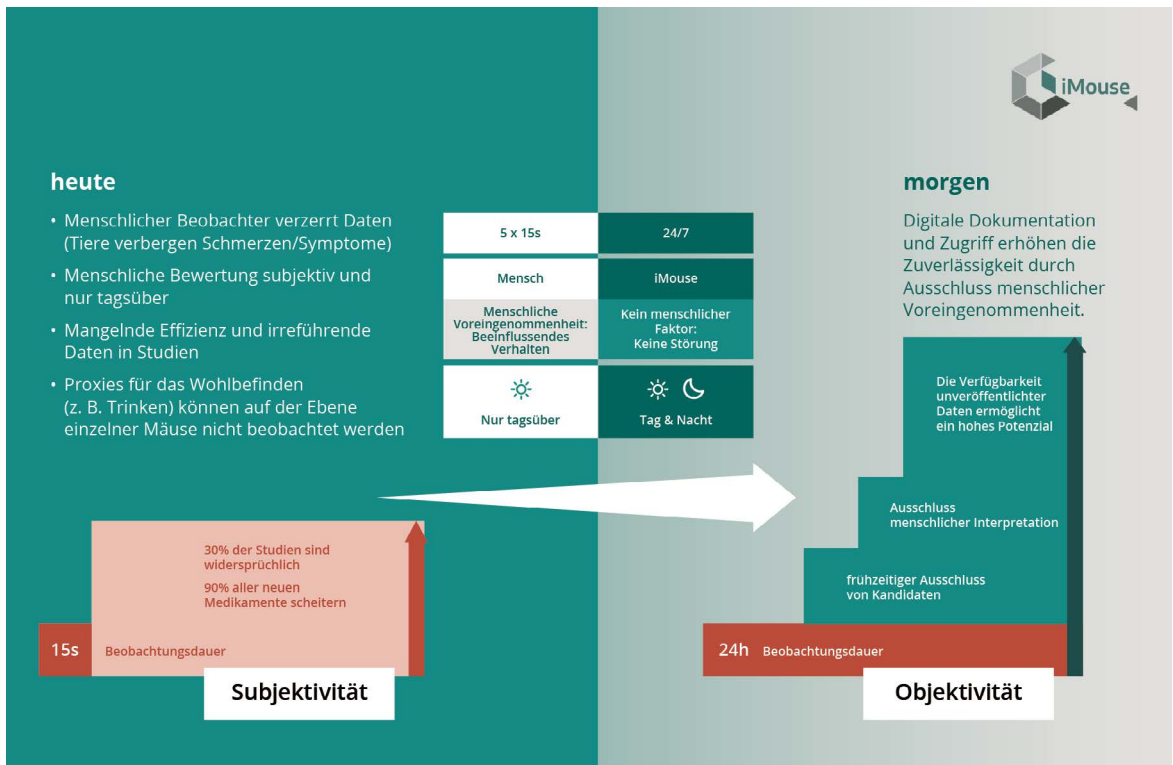


Abbildung 1: Vergleich der aktuellen Situation in den meisten Versuchstierhaltungen heute (links) mit den Möglichkeiten, die sich durch die Digitalisierung, insbesondere mit der Installation eines visuellen Fernüberwachungssystems für den home cage, wie hier das iMouse-System ergeben (rechts)

Betrachtet man die heutige standardisierte Vorgehensweise in den Versuchstierhaltungen zur Einhaltung der 3R und vergleicht diese mit den Möglichkeiten und Ergebnissen digitalisierter Versuchstierhaltungen, zeigt sich, dass die Datenerhebung nicht mehr subjektiv durch eine Einzelperson in kleinen Zeitfenstern erfolgt, sondern eine 24/7-Überwachung möglich ist, ohne dabei das Tier oder den Käfig zu berühren (Abbildung 1).

Herausforderungen für Einrichtungen

Die erfolgreiche Integration digitaler Lösungen in die Versuchstierhaltung stellt die Einrichtungen vor eine Reihe von Herausforderungen, die technische, organisatorische und auch finanzielle Aspekte umfassen.

Technische und infrastrukturelle Hürden

Die Einrichtung und der Unterhalt einer IT-Infrastruktur, die den neuesten Standards entspricht, erfordert umfangreiche Investitionen und technisches Know-how. Dies schließt die Anschaffung von neuer Infrastruktur, deren Installation und eine regelmäßige Wartung ein. IT-Berater mit langjährigem Know-how aus der Praxis und Kollaborationen mit externen Partnern können Unterstützung bei komplexen Projekten und Wissenstransfer bringen.

Finanzierung

Die hohen Kosten für Technologie und Schulungen bedeuten, dass die Finanzierung oftmals eine Barriere für die Einrichtungen darstellt. Die Sicherung von Mitteln durch Förderprogramme, frühzeitig beantragte institutionelle Budgets und Industriepartnerschaften sind entscheidend, können jedoch komplex-, zeit- und wettbewerbsintensiv sein.

Mitarbeiterschulung und Anpassung der Prozesse

Die Einführung neuer Technologien erfordert, dass Mitarbeitende entsprechend geschult werden, um diese auch effektiv nutzen zu können. Der Widerstand gegen Veränderungen und die Notwendigkeit, bestehende Prozesse zu überarbeiten, sind zusätzliche interne Herausforderungen, für die eine strategische Planung unverzichtbar ist.

Datenschutz und ethische Fragen

Mit der erhöhten Datenerfassung und -verarbeitung gehen Datenschutzbedenken einher. Zudem müssen ethische Aspekte sorgfältig abgewogen werden, um sicherzustellen, dass die eingesetzten Technologien das Tierwohl unterstützen und nicht gefährden.

Aus den genannten Gründen sind eine sorgfältige Planung, umfassende Schulungen und eine transparente

Die iMouse-Lösung besteht aus drei Teilen

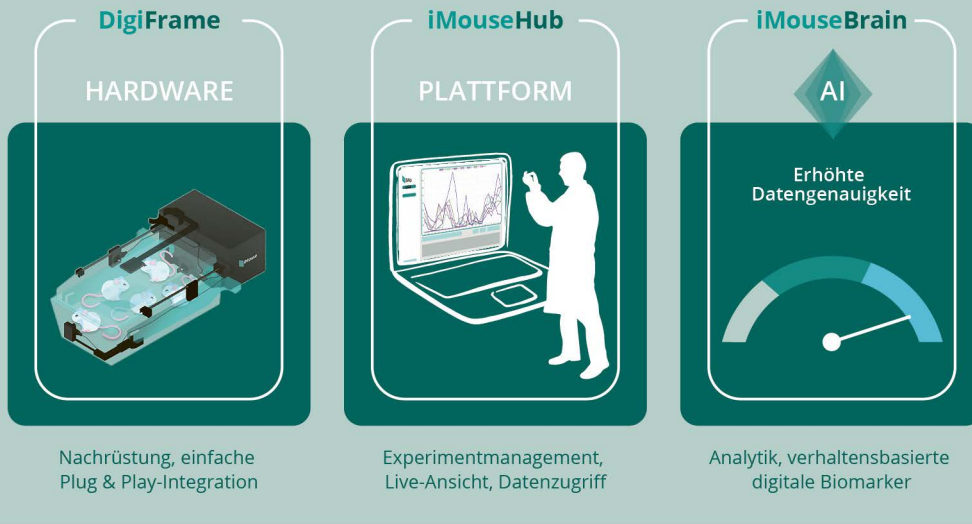


Abbildung 2: Die drei Hauptkomponenten des iMouse-Systems: (1) Der DigiFrame ist die retrofit Hardware, mit den um den home cage herum angeordneten Kameras als Basis (2) iMouseHub bildet die Software-Plattform und (3) iMouseBrain das AI-Herzstück des Systems.

Kommunikation innerhalb der Forschungseinrichtungen sowie mit externen Stakeholdern unbedingt erforderlich. Die Überwindung dieser Herausforderungen ist entscheidend, um die Potenziale digitaler Technologien voll auszuschöpfen und sowohl die Forschungsqualität als auch das Tierwohl signifikant verbessern zu können.

Das iMouse-System

Die genannten Herausforderungen für Einrichtungen und zu gleichen Teilen die Vorteile von digitalen Lösungen, haben das Team von iMouse motiviert, 2020 das iMouse-Projekt ins Leben zu rufen. Die Entwicklung eines übergreifenden und durchgängigen digitalen Systems für die Versuchstierkunde stand und steht im Mittelpunkt, um eine verbesserte Datenqualität, effizientere Überwachungsprozesse und eine reduzierte Belastung durch invasive Beobachtung von Versuchstieren in den bestehenden konventionellen Arbeitsalltag zu integrieren.

Technisch besteht das iMouse-System aus drei Hauptkomponenten, welche die Überwachung von Versuchstieren und die Analyse der erhobenen Daten ermöglichen (Abbildung 2).

DigiFrame

Der DigiFrame ist ein digitaler Rahmen, der mit bis zu fünf Kameras ausgestattet ist, um kontinuierlich Daten aus dem Tierkäfig aufzunehmen und in Echtzeit zu übertragen.

iMouseHub

Der iMouseHub dient als zentraler Knotenpunkt für die Datenerfassung aller angeschlossenen Kameras und aggregiert Daten zur weiteren Analyse und / oder zu Schulungszwecken.

iMouseBrain

Das iMouseBrain verarbeitet und analysiert die vom iMouseHub gesammelten Daten, speichert diese lokal oder in der Cloud und bietet die Grundlage für Verhaltensmustererkennung, in dem es die gesammelten Daten auf bereits trainierte digitale Parameter hin untersucht und auswertet. Mit der bestehenden wissenschaftlichen Gemeinschaft rund um das iMouse-Projekt (Community) und neuen Partnern werden sukzessive weitere Funktionalitäten entwickelt und die bestehenden optimiert.

Mit dem iMouse-System ist es möglich, die Tiere störungs- und damit auch stressfrei über die im DigiFrame installierten Kameras zu beobachten.

Die digitale Dokumentation der Sichtkontrolle kann erstmals mit der Aufzeichnung von Videomaterial und dem dazugehörigen Zeitstempel über die verbundene Plattform, den iMouseHub, stattfinden. Die Daten können spezifisch zugeordnet werden. Mehrere Forschende haben gleichzeitig die Möglichkeit der Beobachtung aus der Ferne.

Im Ergebnis ermöglicht das iMouse-System eine Remote-Echtzeitüberwachung, eine zentrale Datenspeicherung,

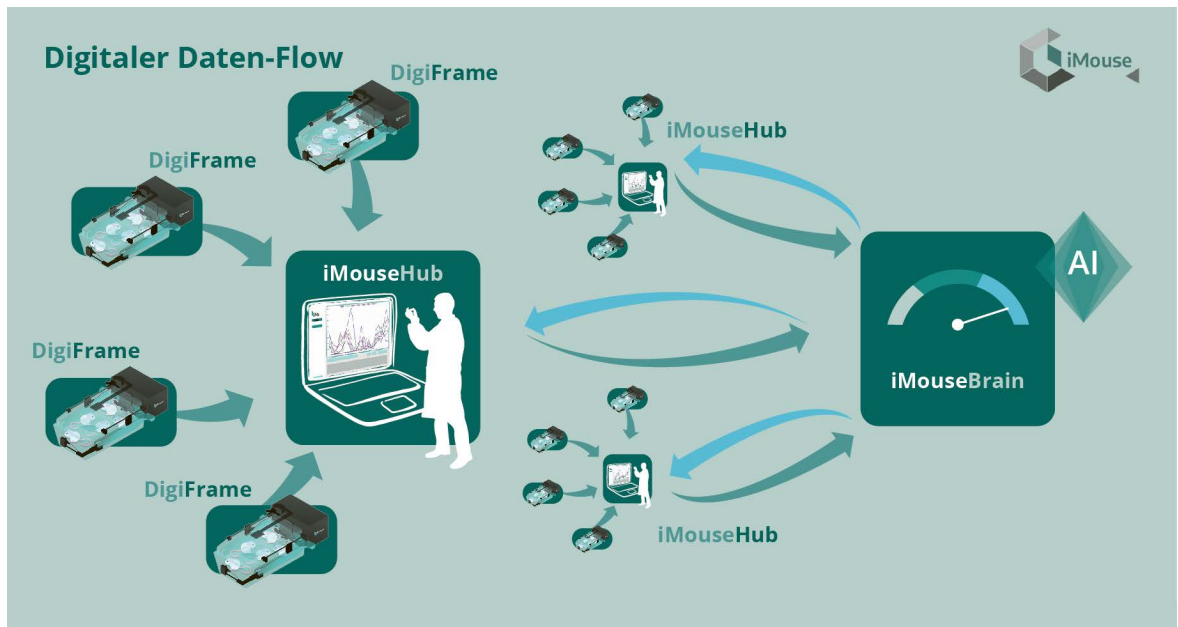


Abbildung 3: Der digitale Datenfluss des iMouse-Systems von der Aufnahme über die Datenerfassung und anschließende Verhaltenserkennung im optimalen Fall

die Möglichkeit der Prozessautomatisierung sowie Transparenz und Rückverfolgbarkeit durch digitale Erfassung. Zudem ist die Observation der Tiere in ihrer aktiven Phase ebenso wie in ihrer inaktiven Phase störungsfrei möglich. Das Analyseprogramm iMouseBrain (Abbildung 3) wird durch die sich im Aufbau befindliche Community-Aktivität gespeist und ständig verbessert, um zukünftig automatische Auswertungen zu ermöglichen.

Ein weiterer Vorteil des iMouse-Systems ist das sogenannte Retrofit, also das Nachrüsten des Systems und die Möglichkeit, das iMouse-System in bestehende Versuchstierhaltungssysteme zu integrieren. Vollständige Neuinstallationen oder komplexe Umbauten sind dafür nicht notwendig. Dies ermöglicht eine schnelle, effiziente und kosteneffektive Implementierung der Überwachung in bestehende Haltungssysteme.

Nutzen für die tägliche Arbeit

In der Praxis können unterschiedliche Berufs- bzw. Personengruppen Nutzen für die tägliche Arbeit aus dem iMouse-System ziehen. Zu nennen sind Tierpflegende, Wissenschaftler:innen, die Tierhausleitung und Behördenvertreter:innen, die die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften überwachen.

Vorteile, die das iMouse-System ihnen allen gleichermaßen für ihre Arbeit bietet, sind:

- Reduzierung des Arbeitsaufwands durch automatisierte Verhaltensüberwachung und Datenerfassung
- verbesserte Datenqualität und -genauigkeit durch Kameras und Algorithmen zur automatisierten Datenerfassung; Reduzierung des menschlichen Fehlers durch die Automatisierung der Datenerfassung
- Reduzierung des Stresslevels der Tiere durch Minimierung menschlicher Eingriffe und dadurch verlässlichere und reproduzierbarere Verhaltensmuster; steigende Datenqualität
- Bessere Einhaltung ethischer Standards durch Reduzierung der Belastung und des Stresses der Tiere; Support des 3R-Konzepts und Sicherstellung der Forschungsethik mit Fokus auf dem Tierwohl
- Sammlung von Videomaterial für Schulung und Fortbildung; effektives Schulungswerkzeug zur besseren Einarbeitung und einer höheren Kompetenz des gesamten Teams
- Vereinfachte, transparente und präzisere Berichterstattung durch digitale Tools; bessere Kommunikation und Zusammenarbeit innerhalb des Teams und zwischen den Nutzergruppen
- Langfristige Zeit- und Kosteneinsparungen durch effiziente Ressourcennutzung, weniger Wiederholungsversuche und bessere Prüfbarkeit
- Echtzeitüberwachung und schnelle Reaktionszeiten

Weitere, individuelle Vorteile der einzelnen Personengruppen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Praktische Anwendungsbeispiele

Der Proof of Concept wurde bereits 2023 durch Lampe et al. [3] gezeigt. Beim Kooperationspartner Leibniz Institut für Virologie in Hamburg stehen seit 2021 mehrere Versuchsanstaltungen, die kontinuierlich mit dem Partner weiterentwickelt werden. Inzwischen ist das System in weitere Einrichtungen integriert und wird dort als Intensivstation für Tiere nach operativen Eingriffen genutzt. Hier ist das Hauptziel, die Belastungen und somit den induzierten Stresslevel für die Tiere nach einem schwerwiegenden Eingriff möglichst gering zu halten. Das wird durch die digitalisierte Sichtkontrolle ermöglicht.

In einer weiteren Anwendung wurde die Verabreichung von Schmerzmitteln über die Regenerationsphase untersucht. Hierzu wurde das Analyseprogramm iMouseBrain für die Erfassung des Trinkverhaltens der Tiere im Käfig genutzt. Durch die KI-basierte Auswertung kann die Gesamtwasseraufnahme über die Zeit, als auch die Menge des aufgenommenen Trinkwassers mit Schmerzmitteln, dargestellt werden.

Das iMouse-System mit seinen drei Komponenten Digiframe, iMouseHub und iMouseBrain ermöglichen eine umfassende und ungestörte 24/7-Überwachung der Tiere, sowie die Analyse des Bildmaterials von Versuchstieren, wodurch die Qualität der erhobenen Daten, zum einen durch die Vermeidung der Fehlerquelle Mensch und zum anderen durch die Reduktion von induziertem Stress erheblich verbessert werden kann. Die Einbindung der künstlichen Intelligenz in bestehende Tierhaltungen und die damit verbundene Erkennung von Tierverhalten und Mustern kann nur innerhalb einer schulenden und engagierten Community erfolgen. Aufgrund der Komplexität der Tiermodelle, den genetischen Hintergründen, Neuzüchtungen und den hiermit verbundenen granularen Verhaltensmustern der einzelnen Modelle, werden umfangreiche Datensätze benötigt, um die bereits bestehenden Algorithmen weiter zu verbessern und zu trainieren. Der Weg der Implementation von

KI in den tierexperimentellen Alltag ist ein gemeinsamer, gewollter Weg, der nur so zu einem sinnvollen und nachhaltigen Ergebnis führen kann.

Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Anfang zur Integration von digitalen Überwachungssystemen getan ist, wodurch sich bereits bedeutende Fortschritte für die biomedizinische Forschung und Entwicklung ergeben. Dies gilt sowohl für das iMouse- als auch für weitere Systeme [2]. Für die unterschiedlichen nutzerspezifischen Anforderungen ist es jedoch notwendig, dass Digitalisierungslösungen kontinuierlich weiterentwickelt und gegen bestehende Standards evaluiert werden. Dieser Aufgabe muss sich die forschende Community annehmen, um die Tierhaltung weiter zu optimieren. Der Einsatz von künstlicher Intelligenz kann damit zukünftig die Analyse des Tierverhaltens signifikant beschleunigen und maßgeblich verbessern. Dadurch ergeben sich schnellere Reaktionszeiten bei Auffälligkeiten, aber auch schlüssige Überwachungen, die nicht nur detaillierte Informationen an die Forschenden weitergeben, sondern auch Transparenz für die Überwachungsbehörden liefern.

Weiterführende Informationen

1. European Cooperation in Science and Technologie, COST Teatime (www.cost-teatime.org)
2. Kahnau P et al. (2023): A systematic review of the development and application of home cage monitoring in laboratory mice and rats. *BMC Biology*, 21 (256) (<https://doi.org/10.1186/s12915-023-01751-7>)
3. Lampe M et al. (2023): The iMouse System – A Visual Method for Standardized Digital Data Acquisition Reduces Severity Levels in Animal-Based Studies. *Journal of Pharmacy and Pharmacology Research*, 7: 256-273 (<https://doi.org/10.26502/fippr.091>)

Tierpfleger:innen	Tierhausleiter:innen	Wissenschaftler:innen	Behörden
<p>Unterstützung bei der Überwachung von Gesundheitsparametern, wie Aktivitätslevel und Futteraufnahme; präzise Daten unterstützen Entscheidungen über die Pflege und Behandlung</p>	<p>Überwachung und Management in Echtzeit; automatisierte Datenerfassungsmethoden liefern aktuelle Informationen über das Verhalten und die Gesundheit</p>	<p>Standardisierung der Datenerfassung zur besseren Vergleichbarkeit verschiedener Studien, besonders wichtig für Metaanalysen und die Replikation</p> <p>Erweiterte Analysemöglichkeiten durch Integration von Algorithmen und maschinellem Lernen; genauere Untersuchung komplexer Verhaltensmuster und physiologische Veränderungen (neue Erkenntnisgewinnung)</p> <p>Flexibilität und Anpassungsfähigkeit von Verhaltensstudien</p>	<p>Verbesserte Transparenz und Nachvollziehbarkeit durch automatische, präzise und kontinuierliche Datenerfassung; leichtere Überprüfung zur Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und ethischer Standards</p> <p>Bessere Entscheidungsgrundlage wegen hoher Qualität und Detailliertheit der Daten</p> <p>Förderung von Best Practices; verbesserte Datenqualität und Reduzierung der Tierbelastung setzen neue Standards</p> <p>Erleichterung von Audits und Inspektionen, da schneller und effizienter Zugriff zu Informationen – beschleunigt den Inspektionsprozess</p>
Fazit			
<p>Das iMouse-System unterstützt Tierpfleger dabei, ihre Aufgaben präziser, einfacher und ethisch verantwortungsvoller zu erfüllen.</p>	<p>Von der Echtzeitüberwachung und dem verbesserten Tierwohl bis hin zur effizienten Ressourcennutzung und verbesserter Datenqualität erleichtert das iMouse-System das Management und die Pflege der Versuchstiere erheblich.</p>	<p>Die Automatisierung und Standardisierung der Datenerfassung sowie die erweiterten Analysemöglichkeiten machen das iMouse-System zu einem unverzichtbaren Werkzeug für moderne wissenschaftliche Forschung.</p>	<p>Für die Regulierung und Überwachung von Tierversuchen verbessert das iMouse-System die Transparenz, Datenqualität und Effizienz der Überwachung und Kontrolle von Tierversuchen und ist damit auch ein praktikables Werkzeug für Behörden.</p>

Tabelle 1: Individuelle Vorteile, die sich durch den Einsatz des iMouse-Systems auf die verschiedenen Nutzergruppen ergeben.



Gemeinsam in die digitale Zukunft

Kamerabasierte Fernüberwachung für bestehende Home Cages

IIoT PROJECTS

Exclusive sales and distribution partner



Intro

iMouse ist ein kamerabasiertes Überwachungssystem welches an **alle gängigen Käfigracks** nachgerüstet werden kann.

Ein **Beobachten** der Tiere, **ohne** diese durch die **menschliche Anwesenheit** zu beeinflussen, bietet vielfältige Vorteile. Einer der wichtigsten ist sicher den Stress für die Tiere zu reduzieren (Bsp. Aufwachphase, Post-OP Überwachung).



Top - nicht für IVC



Back



Front



Left



Right



System Vorteile:

24/7 - Tag und Nacht Überwachung mit Fernzugriff via LAN/ Intranet / Internet

Direkter 360 Grad Blick ohne vor Ort zu sein / die Tiere zu stören (Intensivstation)

Einfaches Update bestehender Käfigsysteme durch Kamera- und Beleuchtungsmodule

Benutzerdefinierte Erfassung- Speicherung- und Teilen von Videodaten

IT Integration durch iMouse Team: Sicherer und nutzerspezifischer VPN-Zugang

Alles aus einer Hand: Beratung, Installation, IT Integration, Service, Training.

Get in touch with us:

We support:



ZOONLAB.de



iMouse.info

