



Themenkurzprofil Nr. 86
Dezember 2025

Xenotransplantation – ein möglicher Beitrag zur Lösung des Organmangels

Sonja Kind

In Kürze

Die Xenotransplantation – die Übertragung lebender Zellen, Gewebe oder Organe zwischen unterschiedlichen Spezies – wird seit mehreren Jahrzehnten als potenzieller Beitrag zur Lösung für den anhaltenden Mangel an Spenderorganen diskutiert.

Nach Experimenten mit Organen von nicht humanen Primaten/Affen in den 1960er und 1980er Jahren gelten heute Schweine mit genetischen Veränderungen, um Abstoßungsreaktionen und die Übertragung bestimmter Viren zu verhindern, als aussichtsreichste Spendertiere. Dieser Ansatz hat durch die Entwicklung von Genome-Editing-Technologien neue Dynamik gewonnen. Ab 2021 wurden in den USA erstmals genetisch veränderte Schweineorgane, die kurzfristig funktionstüchtig waren, in hirntote Patient/innen sowie in einzelne Schwerkranke transplantiert. Anfang 2025 wurden erstmalig klinische Studien von der US-amerikanischen Food and Drug Administration (FDA/Arzneimittelbehörde) genehmigt.

Die medizinischen Herausforderungen betreffen vor allem Abstoßung, Langzeitfunktionalität und Infektionsrisiken. Durch Genom-Editierungs-Techniken möglich gewordene gezielte Modifikationen im Erbgut von Spenderschweinen und verbesserte Immunsuppression bei Patient/innen führten zu vielversprechenden Fortschritten. Noch fehlt es aber an belastbaren Daten zur Langzeitverträglichkeit und -funktionalität. Eine Prämisse für klinische Studien und eine zukünftig breitere Anwendung sind spezifisch-pathogenfreie (SPF-)Zuchtanlagen, die in Europa bislang nicht vorhanden sind.

Gesellschaftlich und ethisch wird das Thema kontrovers diskutiert: Neben Tierschutz- und Akzeptanzfragen in verschiedenen Religionen betreffen Debatten auch die mögliche Verteilungsgerechtigkeit, den Umgang mit noch unausgereiften Technologien am Menschen sowie Fragen zur Nachsorge und Datensicherheit.

Hintergrund und Entwicklungsstand

Xenotransplantation bezeichnet die Übertragung lebender Zellen, Gewebe oder Organe zwischen Individuen unterschiedlicher Spezies, beispielsweise von Schwein zu Mensch oder von Maus zu Ratte. Sie unterscheidet sich damit von der allogenen Transplantation, bei der Spenden zwischen Individuen derselben Spezies erfolgen (zum Beispiel von Mensch zu Mensch), sowie von der autogenen Transplantation, bei der Gewebe aus dem eigenen Körper entnommen und an anderer Stelle wieder eingesetzt wird (zum Beispiel Haut oder Haarwurzeltransplantationen).¹

Seit Ende der 1990er Jahre verfolgt die biomedizinische Forschung zur Xenotransplantation vor allem das Ziel, Schweine als potenzielle Organlieferanten für den Menschen nutzbar zu machen. Insbesondere um Abstoßungsreaktionen zu reduzieren, sind dafür gezielte genetische Modifikationen der Tiere erforderlich. Im Vordergrund steht dabei die Übertragung funktionsfähiger Organe wie Niere, Herz oder Leber. Daneben werden auch tierische Gewebe für therapeutische Zwecke untersucht, etwa Schweineinseln zur Behandlung von Diabetes oder fötale Schweineneurone bei Parkinson (Schick Tanz 2018).

Angesichts des anhaltenden Organmangels in Deutschland wird die Xenotransplantation zunehmend als Beitrag zur Linderung des Problems diskutiert. Der Mangel an Spenderorganen ist gravierend, zugleich ist die Zahl der derzeit transplantierbaren

Organe auf bestimmte Typen begrenzt. Gegenwärtig können Niere, Herz, Leber, Lunge, Bauchspeicheldrüse und Dünndarm übertragen werden (vdek 2025).

Aktueller Stand von Forschung und Entwicklung

Erste Versuche zur Xenotransplantation wurden bereits in den 1960er Jahren durchgeführt, bei denen Schimpansen- und Pavianorgane in Menschen verpflanzt wurden. Die Patient/innen überlebten jedoch nur wenige Stunden (Cooper et al. 2015). Ein besonders öffentlichkeitswirksamer Fall war 1984 die Transplantation eines Pavianherzens in das Neugeborene „Baby Fae“, das danach noch 20 Tage weiterlebte. Es war mit einer Herzfehlbildung geboren, die innerhalb eines Monats zum Tod geführt hätte. Dieser Vorgang wurde damals intensiv medial begleitet und im Nachgang aus bioethischen, rechtswissenschaftlichen und tierschutzrechtlichen Gründen stark kritisiert (Cohen 2025c). 1999 verhängte die FDA ein Moratorium für die Xenotransplantation von Primatenorganen auf Menschen. Dies war weniger tierschutzrechtlichen und ethischen Bedenken geschuldet als vielmehr den hohen Risiken in Bezug auf eine Übertragung von Krankheiten auf den Menschen (Bloom 2001).

Hiernach wandte sich die Xenotransplantationsforschung verstärkt Schweinen zu. Der primäre Grund hierfür war, dass im Vergleich mit Menschenaffen weniger ethisch-tierschutzrechtliche Bedenken bestehen. Das Schwein eignet sich besonders als potenzieller Organspender, während die Herzen von Menschenaffen für erwachsene Menschen eigentlich zu klein sind. Zudem verfügen Schweineorgane trotz zahlreicher physiologischer Unterschiede über eine ausreichende Funktionalität im

¹ https://flexikon.doccheck.com/de/Allogene_Transplantation, <https://flexikon.doccheck.com/de/Autotransplantation>





menschlichen Körper. Allerdings bestehen auch hier Infektionsrisiken, indem Krankheiten über das Schweineorgan auf den Menschen übertragen werden können. Hier stehen besonders die porzinen endogenen Retroviren (PERV) im Mittelpunkt, von denen manche (zumindest in Zellkultur) auch menschliche Zellen infizieren können. So könnten sie Infektionen mit möglichen Tumorbildungen bei den Organempfänger/innen, aber auch bei Menschen im Umfeld der transplantierten Personen hervorrufen (Denner 2021; Michel 2008; Stingl 2012).

Seit Beginn der Versuche mit Schweinen als Spendertiere werden zur Verringerung des Infektionsrisikos mit PERV verschiedene Ansätze genutzt. Neben Züchtung und Selektion kommen genetische Modifikationen zur Anwendung. In den vergangenen Jahren haben die Entwicklungen im Bereich des Genome Editings, insbesondere die Nutzung des CRISPR/Cas-Systems, zu deutlichen Fortschritten geführt (Hu et al. 2023).

Zunächst fanden Transplantationen mit Schweineorganen an hirntoten Personen statt, später an Schwerkranken ohne verbleibende Therapieoption. Die transplantierten Organe bzw. die Patient/innen überlebten oftmals nur wenige Wochen, was nicht zuletzt auch durch die sehr schlechte gesundheitliche Ausgangssituation der Empfänger/innen begründet war. Dies zeigen die nachfolgend aufgeführten Versuche, die primär in den USA mit den modifizierten Schweineorganen der Firmen

eGenesis und United Therapeutics bzw. deren Tochterfirma Revivicor stattfanden:

Erstmals wurden 2021 genetisch veränderte Schweineherzen in zwei hirntote Patient/innen an der University of Maryland, Baltimore, verpflanzt, die für wenige Tage funktionstüchtig blieben. Ein Jahr später wurden zwei Schweineherzen transplantiert: Eines wurde ebenfalls einer hirntoten Person eingepflanzt (NYU Langone News 2021), das andere einem schwerkranken 57-jährigen Patienten, der danach 7 Wochen weiterlebte (Griffith et al. 2022; Kotz 2022; Wang et al. 2022). Die Autopsie ergab, dass es zu einer Infektion mit dem porzinen Cytomegalovirus (PCMV) aus dem Spenderschwein gekommen war, die vermutlich zur Verschlechterung des ohnehin schon schlechten Allgemeinzustandes des Patienten beitrug (Deutsches Ärzteblatt 2022). Ein weiterer Patient, dem 2023 an der gleichen Klinik ein Schweineherz übertragen worden war, verstarb nach 6 Wochen aufgrund einer Abstoßungsreaktion (ÄrzteZeitung 2023; Deutsches Ärzteblatt 2025b; Griffith et al. 2025).

Im November 2024 wurde dann zum ersten Mal einer 53-jährigen lebenden Patientin eine Schweineleiere eingesetzt, die 130 Tage in der Patientin verblieb, bevor sie infolge einer vermutlich nicht mit der Transplantation zusammenhängenden Infektion wieder entfernt werden musste. Die Patientin ist seitdem wieder an der Dialyse (Cohen 2025c).

Einen nächsten Schritt stellte Anfang 2025 die Genehmigung zweier klinischer Studien durch die FDA dar. Damit wurde der Übergang von Einzelfallentscheidungen zu größer angelegten Studien eingeleitet. Einer der ersten Patienten war der 66-jährige Timothy Andrew, der im Januar 2025 eine Schweineleiere erhielt, die 9 Monate funktionstüchtig war, bevor sie aufgrund von Abstoßungsreaktionen dem Patienten im Oktober 2025 wieder entnommen werden musste (Cohen 2025b und 2025c).

Auch im Bereich der Lebertransplantation sind neue Entwicklungen zu verzeichnen. Die FDA genehmigte bis zu 20 extrakorporale Xenotransplantation, bei denen Schweinelebern in einem Perfusionsystem mit dem menschlichen Kreislauf verbunden werden (Deutsches Ärzteblatt 2025a).

Stand heute (11/2025) wurden weltweit schätzungsweise 20 Xenotransplantationen von Organen an Menschen durchgeführt (eigene Erhebung). Für China liegen allerdings keine gesicherten Informationen über Anzahl und Art der Eingriffe vor.

Tabelle 1 Überblick zu Xenotransplantationen an Menschen seit 2021 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Jahr	Zentrum	Organ	Status der Empfänger/innen	Unternehmen	Überlebens-, Beobachtungszeit/ Todesursache	Quelle/Literatur
2021	NYU Langone	Niere (ex vivo)	hirntot	Revivacor	54 Stunden Beobachtung	Montgomery et al. (2022)
2021	UAB	2 Nieren	hirntot	Revivacor	77 Stunden/Abstoßung	Porrett et al. (2022)
2022	UMMC	Herz	lebend	Revivacor	60 Tage/Herzversagen (mögliche Rolle porcines CMV)	Griffith et al. (2022)
2022	NYU Langone	Herz (2 Fälle)	hirntot	Revivacor	72 Stunden/Beobachtung	Mohiuddin et al. (2023)
2023	NYU Langone	Niere (3 Fälle)	hirntot	Revivacor	61 Tage/unbekannt	Biermann-Medizin (2024); Pan et al. (2024)
2023	UMMC	Herz	lebend	Revivacor	40 Tage/Abstoßung	Schmoeckel et al. (2024a), Biermann-Medizin (2024), Pan et al. (2024)
2024	MGH (Boston)	Niere	lebend	eGenesis	52 Tage/plötzlicher Herztod	Kawai et al. (2025)
2024	NYU Langone	Niere	lebend	Revivacor	130 Tage (danach Explantation aufgrund von Infektion)/ Patientin lebt	Cohen (2025a)
2025	MGH (von FDA genehmigte klinische Studie)	Niere	lebend (3 Patient/innen) (6 bis max. 50 Patient/innen)	eGenesis United Therapeutics	laufend eGenesis seit 09/2025 United Therapeutics seit 02/2025	Cohen (2025c); eGenesis (2025); Unither (2025)
2025	China	Niere	lebend	ClonOrgan	unbekannt	Cohen (2025c); Feng/Shuo (2025)
2025	China	Leber	hirntot	ClonOrgan	unbekannt	Tao et al. (2025)
2025	(von FDA genehmigte Studie an mehreren US-Zentren)	Leber (extrakorporal)	lebend; bis zu 20 Empfänger/innen	eGenesis	unbekannt	Tao et al. (2025); Deutsches Ärzteblatt (2025a)
2025	China	Lunge	hirntot	ClonOrgan	9 Tage	He et al. (2025)

CMV: Cytomegalovirus

FDA: Food and Drug Administration

MGH: Massachusetts General Hospital

NYU: New York University

UAB: University of Alabama

UMCC: University of Maryland Medical Center

Relevante biomedizinische Herausforderungen

Bereits im Sachstandsbericht des TAB (1999) wurden zentrale medizinisch-naturwissenschaftliche Hürden der Xenotransplantation beschrieben. Auch 25 Jahre später stellen diese drei Herausforderungen weiterhin den Hauptfokus der Forschungsbemühungen dar:

1. **Vermeidung von Abstoßungsreaktionen:** Die Abwehrreaktionen des menschlichen Immunsystems bleiben das größte Hindernis. Zwar lassen sich diese durch genetische Veränderungen bei den Spenderschweinen und den Einsatz von Immunsuppressiva (Medikamente, die das Immunsystem unterdrücken) teilweise abmildern (Schmoeckel et al. 2024b), doch treten bei Xenotransplantaten oft besonders starke und teils spezifische Abstoßungsreaktionen auf. Neben der hyperakuten Abstoßung stellen auch verzögerte vaskuläre, zelluläre oder chronische Reaktionen besondere Herausforderungen dar.
2. **Langzeitfunktionalität:** Auch die physiologische Verträglichkeit und die dauerhafte Funktion der Organe sind bislang nicht gesichert. Inkompatibilitäten wie Störungen der Blutgerinnung

müssen noch besser verstanden und therapeutisch überwunden werden, um eine langfristige Funktionalität der transplantierten Organe zu erreichen (Schmoeckel et al. 2024b).

3. **Kontrolle von Infektionsrisiken:** Ebenso birgt die Übertragung tierischer Organe das Risiko von Infektionen mit bekannten und unbekanntem Erregern (Schmoeckel et al. 2024b). Im Fokus stehen vor allem endogene Retroviren im Schweinengenom, die auf Menschen übergehen könnten. Darüber hinaus besteht die Gefahr bislang unentdeckter viraler Erreger, die nicht nur die Empfänger betreffen, sondern im schlimmsten Fall eine Verbreitung neuer Krankheitserreger in der Bevölkerung auslösen könnten (Deutsches Ärzteblatt 2022).

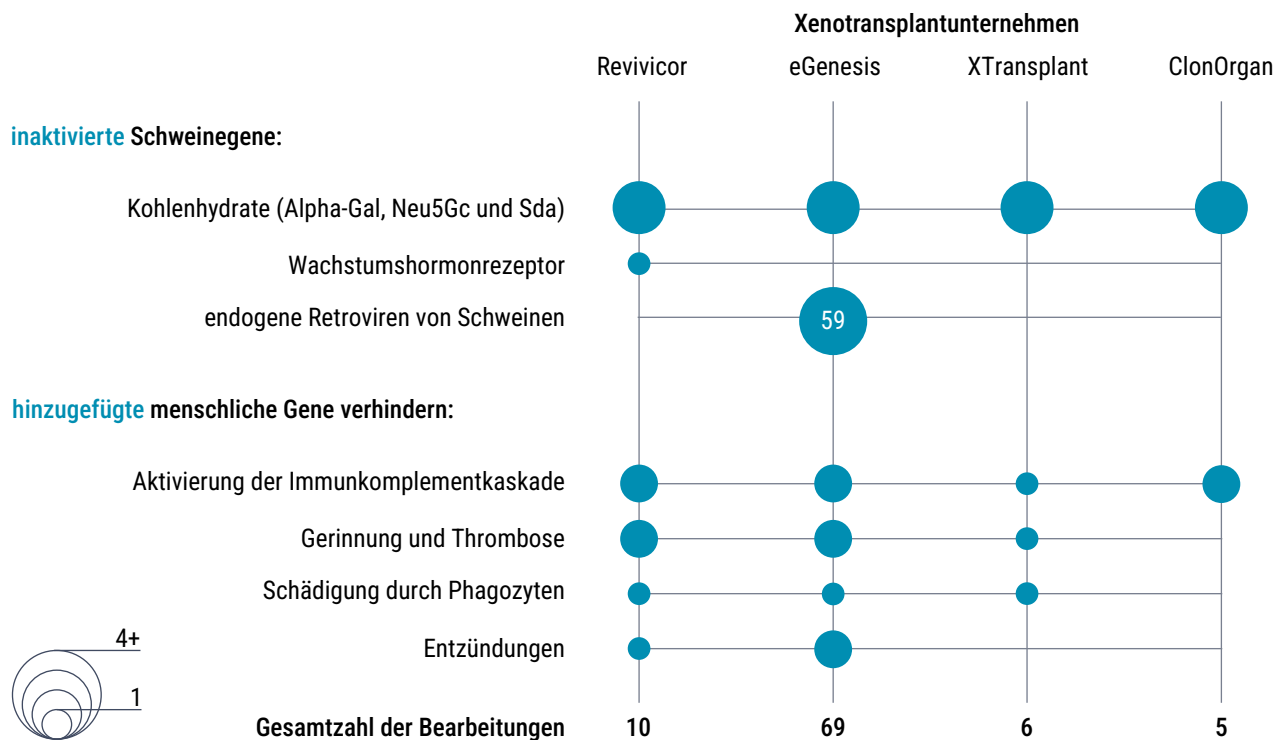
Optimierung durch genetische Spenderorganmodifikationen

Um eine Abstoßung tierischer Organe beim Menschen zu verhindern, werden Schweine seit den 1990er Jahren gezielt genetisch verändert (Cohen 2025c; Science Media Center Germany 2022). Mehrere Unternehmen entwickelten transgene Schweine, deren Organe zunächst in präklinischen Modellen, vor allem an Affen, getestet wurden. Besonders bei der hyperakuten Abstoßung konnten seither große Fortschritte erzielt werden. Dazu wurde

Abbildung 1 Genetische Modifikationen bei Schweinen von Xenotransplantationsunternehmen

Brave new pigs

Verschiedene Strategien zur Genbearbeitung zielen darauf ab, Schweine zu züchten, deren Organe im menschlichen Körper überleben können. Durch die Inaktivierung von Schweinegenen oder das Hinzufügen menschlicher Gene kann beispielsweise die Immunabstoßung begrenzt oder die Größe der Organe gering gehalten werden.



Quelle: Cohen (2025c, S. 911); Grafik: M. Hersher/Science; Daten: Revivicor; Egenesis; Xtransplant; Clonorgan

in Schweinen das für die hyperakute Abstoßungsreaktion hauptsächlich verantwortliche Alpha-Gal-Gen inaktiviert.

Da die Immunantwort komplex ist, müssen mehrere Schweinegene inaktiviert oder zusätzlich bestimmte menschliche Gene eingeführt werden, um die Verträglichkeit zu verbessern (Abbildung 1). Die Entdeckung der Genschere CRISPR/Cas im Jahr 2012 und ihre Nutzung zur Genomeditierung seitdem haben diesen Prozess deutlich vereinfacht. Ein Beispiel ist die 2024 transplantierte Niere der Firma Revivicor, die zehn genetische Veränderungen aufweist: vier deaktivierte Schweinegene und sechs eingefügte menschliche Gene, um die Immunreaktion zu dämpfen. Zusätzlich wurde ein Gen entfernt, das einen Wachstumshormonrezeptor codiert, um ein übermäßiges Größenwachstum des Organs im menschlichen Körper zu verhindern. Andere Unternehmen wie eGenesis, ClonOrgan oder XTransplant setzen dagegen auf die Nutzung von Minischweinerassen, mit denen dieses Problem von vorneherein umgangen wird.

Die eingefügten menschlichen Gene sollen unter anderem Gerinnungsstörungen verhindern, Entzündungsreaktionen abmildern und das Risiko von Thrombosen reduzieren. Besonders weitreichend ist der Ansatz des Unternehmens eGenesis, das insgesamt 69 genetische Modifikationen vornahm, darunter die Inaktivierung 59 retroviraler Gene, um eine Übertragung endogener Schweineviren auszuschließen.

Bislang existiert allerdings noch kein einheitlicher Standard für genetische Anpassungen. Die unterschiedlichen Unternehmen verfolgen jeweils eigene Strategien, um die optimale Kombination von Modifikationen zu identifizieren (Cohen 2025c).

Verbesserte Immunsuppression als komplementäre Strategie zu genetischen Modifikationen

Während durch die beschriebenen gezielten Eingriffe im Schweinengenom bereits große Fortschritte erzielt wurden, bleibt eine zusätzliche pharmakologische Immunsuppression unverzichtbar. Hier wird derzeit intensiv an neuen Wirkstoffkombinationen geforscht. In präklinischen Studien mit Pavianen, denen Schweineherzen transplantiert wurden, konnten einige Tiere fast 1.000 Tage überleben – allerdings nur unter konsequenter Immunsuppression. Eine Reduktion der Medikamente führte umgehend zu Abstoßungsreaktionen (Deutsches Ärzteblatt 2022).

Ein besonders vielversprechender Ansatz ist die Entwicklung von monoklonalen Antikörpern gegen das Molekül CD154, das auf der Oberfläche verschiedener menschlicher Immunzellen vorkommt und an der Regulation der Immunantwort beteiligt ist. Durch seine Blockade könnte die Abwehrreaktion gegen Schweineorgane besonders effektiv abgeschwächt werden.

Xenotransplantationen bleiben ein Forschungsfeld

Die Fortschritte bei genetischen Modifikationen und Immunsuppression markieren wichtige Meilensteine. Dennoch zeigen sie zugleich, dass Xenotransplantationen nach wie vor nicht über das Stadium experimenteller Ansätze an wenigen Patient/innen hinausgelangt sind.

Trotz aller Fortschritte in der Forschung im Vergleich zu dem im Bericht des TAB (1999) skizzierten Stand ist es bislang nicht gelungen, eine vollständige Immuntoleranz gegenüber tierischen Organen zu erreichen. Zwar konnten die kurzen Überlebenszeiten in den vergangenen Jahren deutlich verlängert werden, doch verzögerte und chronische Abstoßungsreaktionen stellen weiterhin erhebliche Hürden dar. Hier besteht auch künftig erheblicher Forschungsbedarf (Byrne/McGregor 2025).

Ebenso fehlen noch Beobachtungen zur langfristigen Funktionalität und Haltbarkeit der Organe im menschlichen Körper. Experimente in Tiermodellen deuten darauf hin, dass sich durch optimierte genetische Modifikationen in Kombination mit verbesserten Behandlungsprotokollen die Überlebensdauer von Monaten auf mehrere Jahre verlängern ließe – vor allem bei vergleichsweise gesunden Patient/innen (Deutsches Ärzteblatt 2022; Kozlov 2024; Meldolesi 2025).

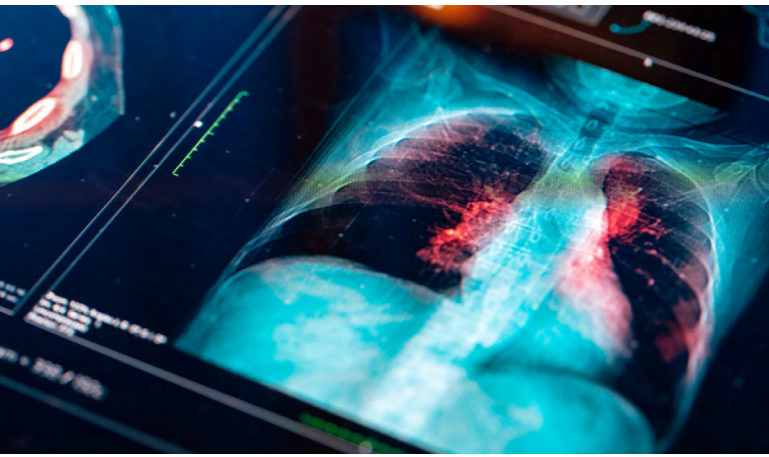
Damit könnten Xenotransplantate perspektivisch zumindest als Übergangslösung für Patient/innen dienen, die auf ein Spenderorgan warten, oder als Option für diejenigen Patient/innen, die aufgrund von Vorerkrankungen grundsätzlich von einer konventionellen Transplantation ausgeschlossen sind.

Internationaler Vergleich der Aktivitäten im Bereich Forschung zu und Kommerzialisierung von Xenotransplantationen

Während die Xenotransplantation bislang vor allem ein Forschungsfeld ist, dürfte sie perspektivisch zunehmend auch an wirtschaftlicher Bedeutung gewinnen. Angetrieben wird der Markt durch den weltweiten Mangel an Organen. Prognosen zufolge könnte der globale Markt für Xenotransplantationen bis 2030 auf 25,2 Mrd. US-Dollar anwachsen.² Dieser Wert umfasst allerdings auch die Xenotransplantation von Geweben, zugehörige Diagnostika und Techniken zur Organerhaltung.

Die USA sind klar führend und nehmen im Bereich der klinischen Forschung von Schweineorganen eine Pionierrolle ein. In den USA wurden bereits mehrfach Xenotransplantationen an lebenden Patient/innen durchgeführt. Seit Anfang 2025 laufen die ersten klinischen Studien mit breiteren Erprobungsansätzen. Damit weisen die USA derzeit weltweit den höchsten Reifegrad von der Präklinik bis hin zu frühen klinischen Studienphasen

² <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/xenotransplantation-market/264010>



auf. Die Unternehmen eGenesis und United Therapeutics bzw. Revivicor haben eine nahezu industrielle Lieferkette für die Xenotransplantation von Schweineorganen etabliert. Entsprechend dominierten die USA 2024 den globalen Markt der Xenotransplantationen (Meldolesi 2025).³

Europa verfügt zwar über eine lange Tradition in der Xenotransplantationsforschung, liegt jedoch deutlich hinter den USA zurück. Dennoch haben einzelne Länder wichtige Forschungsbeiträge geleistet, vor allem in den Bereichen Identifikation und Modifikation von Abstoßungsgenen sowie bei der Entwicklung neuer Immunsuppressiva (Iwanczyk et al. 2025).

Zu den forschungsstarken europäischen Ländern gehören insbesondere Großbritannien und Deutschland. In *Deutschland* sind vor allem präklinische Aktivitäten zu verzeichnen, unter anderem im DFG-geförderten Forschungsverbund SFB/Transregio 127 (LMU München, MHH Hannover, TU Dresden), der Grundlagen für Herz- und Inselzelltransplantationen untersucht. Die Ansätze bleiben bislang auf wenige Firmen (XTransplant⁴, MWM Bio-models⁵) beschränkt – mit ersten klinischen Pilotversuchen beginnend 2024 (XTransplant).

Die Aktivitäten in *Großbritannien* richten sich hingegen stärker auf internationale Kooperationen, regulatorische Fragen und technische Infrastrukturen. Während die dortige Forschung in den vergangenen Jahrzehnten grundlegende Pionierarbeiten auf dem Feld der Xenotransplantation geleistet hatte, wurden in den letzten Jahren kaum noch Durchbrüche berichtet (Iwanczyk et al. 2025).

In *Japan* wurden in den vergangenen Jahren ebenfalls nur wenige Fortschritte bei klinischen Studien erzielt (Saito et al. 2024). Stattdessen setzt man auf Kooperationen mit US-Unternehmen, um die eigene Forschung weiter voranzutreiben.⁶ Zudem wird

ein Bedarf hinsichtlich der Regulierung von Xenotransplantaten konstatiert, etwa bei der Anwendung in klinischen Studien (Saito et al. 2024). Global betrachtet ist auch *China* herauszuheben, das im Feld der Xenotransplantation sehr aktiv ist. Es wird von mindestens jeweils einer Nieren-, Lungen- und Lebertransplantation an hirntoten Patient/innen berichtet (dazu auch Tabelle 1). Die Forschung wird in China aktiv gefördert und es werden Richtlinien erarbeitet (Huang 2022; Xing et al. 2025).

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Spenderorganmangel und Verteilungsfragen

Nach Angaben der Deutschen Stiftung Organtransplantation warteten 2024 über 8.500 Menschen auf ein Spenderorgan, während bundesweit nur 584 Organspenden erfolgten. Die Wartezeit auf eine Niere beträgt hierzulande im Durchschnitt 8 bis 9 Jahre⁷, allein 2024 verstarben 679 Patient/innen während der Wartezeit (vdek 2025).⁸

Im europäischen Vergleich zählt Deutschland zu den Ländern mit den geringsten Organspenden. 2023 wurden lediglich rund 10 Organe pro 1 Million Einwohner/innen gespendet, während Spanien mit 46 Spender/innen pro 1 Million Einwohner/innen in Europa an der Spitze lag (Zimmering/Hammes 2023).⁸

Die Ursachen für die geringe Spenderzahl sind vielfältig und lassen sich nicht allein durch eine mangelnde Spendebereitschaft erklären. So äußern laut einer Befragung der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BzGA 2022) 84 % der Bevölkerung eine grundsätzliche Bereitschaft zur Organspende, doch nur 44 % haben ihre Bereitschaft schriftlich oder digital in einem Organspendeausweis oder einer Patientenverfügung festgehalten (Zimmering/Hammes 2023). Ohne eine solche Erklärung müssen Angehörige im Todesfall oftmals unter Zeitdruck entscheiden, was häufig zu Ablehnungen führt (Deutsche Herzstiftung 2024).

Grundsätzlich kommen nur Patient/innen mit festgestelltem Hirntod als Spender/innen infrage. Eine Entnahme ist nur für kurze Zeit möglich, weil das Herz-Kreislauf-System künstlich so aufrechterhalten werden muss, dass in dieser Zeit die Organe weiterhin durchblutet und somit entnommen bzw. transplantiert werden können. Da diese Entnahmemöglichkeit sehr selten vorkommt, ist die Verfügbarkeit von Spendeorganen generell eingeschränkt.⁹ Darüber hinaus erschweren organisatorische Faktoren, wie unterschiedliche klinikinterne Prozessabläufe bei der Organspende, Personalmangel sowie eine hohe Arbeits-

3 <https://www.precedenceresearch.com/xenotransplantation-market>

4 <https://xtransplant.com/our-vision>

5 <https://www.mwm-biomodels.com>

6 <https://www.regmednet.com/cell-therapy-weekly-gene-edited-porcine-donors-for-xenotransplantation>

7 <https://www.klinikum-stuttgart.de/medizin-pflege/transplantationszentrum/wartezeit>

8 <https://www.organspende-info.de/zahlen-und-fakten/statistiken>

9 <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/faq-organspende-2194126>

belastung in Kliniken, die Identifikation potenzieller Spender/innen und die Realisierung möglicher Spenden.

Vor diesem Hintergrund erscheint die Xenotransplantation potenziell als vielversprechende Ergänzung, um die Lücke zwischen Angebot und Bedarf zu verringern.

Regulatorischer und rechtlicher Rahmen

Die angestrebte Nutzung von Xenotransplantationen berührt auch rechtliche und regulatorische Aspekte, insbesondere in den Bereichen Arzneimittel-, Gentechnik- und Infektionsschutzgesetz (Straßburger 2018).

Xenotransplantate, auch Xenotherapeutika genannt, werden in der EU in drei wissenschaftlich-medizinische Bereiche unterteilt, welche wiederum verschiedene Produktgruppen enthalten: erstens solide Organe (zum Beispiel Herz, Niere, Leber, Lunge), zweitens Zellen und Gewebe (zum Beispiel Pankreasinseln) und drittens extrakorporal genutzte xenogene Organe (zum Beispiel Leber). Xenotransplantate in Form von Zellen und Geweben werden innerhalb der EU durch die Verordnung (EG) Nr. 1394/2007¹⁰ erfasst). Solide xenogene Organe werden in diesen Regelungen zwar nicht explizit erwähnt, aber auch nicht ausgeschlossen (Tönjes 2024). Das für ATMP (Advanced Therapy Medicinal Products) zuständige Committee for Advanced Therapies (CAT) der European Medicines Agency (EMA 2025) hat in seiner empfehlenden Funktion genetisch modifizierte Schweineherzen zuletzt als biotechnologisch bearbeitetes Gewebeprodukt und damit als ATMP eingestuft, mit dem ergänzenden Zusatz, dass diese Empfehlung gilt, solange es dazu keine neue Gesetzgebung gibt. Aus Sicht des für die Regulierung von Xenotransplantaten in Deutschland zuständigen Paul-Ehrlich-Instituts steht damit für den aktuellen Stand der Entwicklungen, insbesondere für die klinische Erprobung der Xenotransplantation, ein hinreichender Rechtsrahmen zur Verfügung (Antwort auf Anfrage PEI 2025, EMA 2025).

Der Europarat erstellte 2003 einen „State of the Art“-Bericht (CoE 2003) zur Xenotransplantation. Dieser soll im Rahmen eines offiziellen Prozesses zwischen 2024 und 2026 durch den Rat aktualisiert werden und die Grundlage für nationale und europäische Rechtsvorschriften sowie für internationale Koordination im Kontext der Xenotransplantation bilden (Tönjes 2024).

Im April 2025 veröffentlichte die International Xenotransplantation Association (IXA) ein Positionspapier zur aktuellen regulatorischen Situation, in dem sie ein langfristiges Monitoring und eine internationale Harmonisierung als zentrale Themen



adressiert. Auch die FDA aktualisierte 2016 ihre Leitlinien¹¹ zu Xenotransplantation (Reichart et al. 2021).

Insgesamt bleibt auf globaler Ebene die große Regulierungsheterogenität zwischen den Ländern eine wesentliche Herausforderung. Diese Fragmentierung könnte die breite klinische Etablierung erschweren.

Sichere Zuchtinfrastrukturen als Voraussetzung

Die regulatorischen Fragen schließen eine weitere Schlüsselbedingung für die klinische Anwendung ein: die sichere Zucht und Haltung der genetisch veränderten Spenderschweine, da eine konventionelle landwirtschaftliche Tierhaltung hierfür nicht ausreichend ist.

Für klinisch verwertbare Xenotransplantate sind streng kontrollierte SPF-Zuchtbestände erforderlich. In solchen hochspezialisierten Anlagen bestehen mehrstufige Sicherheitsmaßnahmen, wie physische Barrieren, spezielle Luftfiltersysteme, Desinfektionsschleusen, kontrollierter Personalzugang und strikte Protokolle für die Tierbewegungen etwa beim Transport. Ziel ist es, sowohl das Einschleppen von Erregern in die Zuchtanlage zu verhindern als auch einen möglichen Austritt von Krankheitserregern aus der Anlage zu unterbinden (Revivacor 2020). Ergänzend erfolgen eine kontinuierliche Diagnostik, Qualitätskontrollen sowie Impf- und Behandlungsstrategien der Donortiere, um eine Übertragung von Schweineviren auf den Menschen auszuschließen (Mao et al. 2023).

Während in den USA entsprechende SPF-Anlagen bereits existieren, fehlen sie in Europa bislang noch vollständig. Der Aufbau solcher Infrastrukturen ist mit sehr hohen Kosten verbunden, gilt jedoch als zwingende Voraussetzung für klinische Studien und eine spätere Anwendung bei Menschen (Science Media Center Germany 2022).

¹⁰ Verordnung (EG) Nr. 1394/2007 vom 13. November 2007 über Arzneimittel für neuartige Therapien und zur Änderung der Richtlinie 2001/83/EG und der Verordnung (EG) Nr. 726/2004, zuletzt am 26.07.2019 geändert

¹¹ <https://www.fda.gov/vaccines-blood-biologics/biologics-guidances/xenotransplantation-guidances>

Ethische und gesellschaftliche Aspekte

Zusätzlich zur Verteilungsgerechtigkeit wirft das Thema Xenotransplantation weitere ethische Fragen auf. Diese betreffen insbesondere den Tierschutz, die kulturelle und religiöse Akzeptanz sowie das Risiko der Anwendung einer noch unausgereiften Technologie am Menschen (NKF 2025).

Als Kritik wird formuliert, dass Tiere durch ihre Nutzung als bloße „Ersatzteillager“ für den Menschen in ihrem Status als Lebewesen herabgesetzt würden (PETA-Team 2025). Zudem erfordert die Haltung genetisch veränderter Spenderschweine hochspezialisierte Umgebungen, die das Wohlbefinden der Tiere beeinträchtigen können. Die Diskussion um tierethische Aspekte wurde in der Vergangenheit zwar stellenweise geführt, doch bleibt das Thema bei aktuellen Berichten und Richtlinien im Kontext der Verfahren zum Genome-Editing und zur Xenotransplantation nach Ansicht von Camenzind (2023) unterrepräsentiert.

Grundsätzlich wird kritisiert, dass die Etablierung der Xenotransplantation die Gefahr birgt, dass ethisch weniger umstrittene Alternativen außer Acht gelassen oder verdrängt werden könnten. Die meisten tierethischen Bedenken gegenüber der Xenotransplantation entsprechen denen, die grundsätzlich auf Tierversuche zutreffen. Zentral ist dabei die Frage zum moralischen Status der Tiere und zu einer möglichen Güterabwägung zwischen menschlichem Nutzen und tierischem Schaden.

Von großer Bedeutung sind außerdem kulturelle und religiöse Aspekte. Schweine sind die wichtigste Quelle für xenogene Organe, der Umgang mit ihnen ist in einigen Religionen und Kulturen jedoch strengen Regeln unterworfen. Inwieweit Ausnahmen zur Rettung eines Menschenlebens zulässig sind, ist ein Thema theologischer Debatten, die in den verschiedenen Religionen unterschiedlich geführt werden (Islamportal 2022). Während die katholische (DBK 1998) und die evangelische Kirche (EKD 1998) die Vorteile der Xenotransplantation grundsätzlich betonen, weisen sie in Stellungnahmen auch darauf hin, dass durch die Xenotransplantation die Bereitschaft zur Organspende weiter sinken könnte (Klinkhammer 1998). Zudem sollte auch die Würde des Menschen und des Tieres gleichermaßen beachtet werden. Das Alter der zitierten Quellen zeigt jedoch auf, dass die Debatten in den christlichen Kirchen dazu vor über 25 Jahren geführt wurden und dementsprechend auf die aktuellen Entwicklungen noch nicht eingegangen werden konnte.

Im Judentum gilt zwar der Verzehr von Schweinen als unrein, nicht jedoch die Xenotransplantation von Organen (Evers 2019). Innerhalb des Islams wird die Legitimität der Verwendung von Schweineorganen kontrovers diskutiert. Grundsätzlich gilt der menschliche Körper im islamischen Glauben durch die Xenotransplantation als verunreinigt, jedoch sind Ausnahmen gestattet, wenn dies die einzige Möglichkeit ist, ein Leben zu retten.

Grundsätzlich sollte nach islamischem Glauben die Verwendung von Tieren für diese Zwecke jedoch vermieden werden, weil sie als Teil der Schöpfung einen hohen Stellenwert haben und den Tieren mit Würde und Fürsorge begegnet werden sollte (İlkiliç/Maaroufi 2018; Islamportal 2022).

Nicht zuletzt wirft die Anwendung einer vergleichsweise unausgereiften Technologie am Menschen besondere medizinethische Fragen auf. Für die Patient/innen sind mit einer Xenotransplantation erhebliche Gesundheitsrisiken verbunden, während die Erfolgsaussichten bislang begrenzt bleiben. Bisher wurden Transplantationen mit tierischen Organen fast ausschließlich bei Menschen durchgeführt, die keine andere Überlebenschance hatten. Dass Patient/innen in solch einer lebensbedrohlichen, verzweifelten Lage tatsächlich eine freie und selbstbestimmte Entscheidung treffen können, kann grundsätzlich angezweifelt werden (Kögel/Marckmann 2023). Im Rahmen der jüngst begonnenen Erprobung der Xenotransplantation in klinischen Studien unter kontrollierten Bedingungen können ethische Standards systematischer berücksichtigt werden als bei individuellen Heilversuchen.

Darüber hinaus ist die Frage zur Nachsorge ein zentraler Punkt, denn Personen mit xenogenen Organen müssen voraussichtlich lebenslang medizinisch und virologisch überwacht werden, um eine mögliche Verbreitung tierischer Krankheitserreger frühzeitig zu erkennen und zu verhindern (NKF 2025). Unter Umständen könnte auch die Überwachung von engen Kontaktpersonen notwendig werden, was Fragen zu Persönlichkeitsrechten, gesellschaftlicher Akzeptanz und Datenschutz aufwirft. Dabei entsteht ein Spannungsfeld zwischen dem Schutz der öffentlichen Gesundheit und den individuellen Rechten der Patient/innen und Kontaktpersonen. Gleichzeitig besteht das Risiko, dass sich Patient/innen einer entsprechenden Nachsorge entziehen könnten, was wiederum eine Gefahr für die Bevölkerung darstellen würde (Kögel/Marckmann 2023).

Grundsätzlich gilt eine Abwägung von Risiken für Einzelpersonen, die einer Behandlung zustimmen, gegenüber den Risiken für die Allgemeinheit. In diesem Zusammenhang gibt es Diskussionen um eine dafür erforderliche „kollektive“ oder „Gemeinschaftszustimmung“ (Kögel/Marckmann 2023). Denkbar ist, dass die Bevölkerung in Konsultationsprozessen zu Chancen und Risiken der neuen Behandlungsmethode einbezogen wird.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

In den vergangenen Jahren konnten im Bereich der Xenotransplantation deutliche Meilensteine erreicht werden: zum Beispiel erfolgreiche Nierentransplantation in lebenden Menschen, Start erster klinischer Studien in den USA, Zucht von genetisch modifizierten Schweinen in SPF-Zuchtanlagen in den USA.

Trotz der beschriebenen Fortschritte in der Forschung und bei der Erprobung klinischer Anwendungen sind zentrale Fragen hinsichtlich Langzeitverträglichkeit, Erfolg bei Abstoßungsreaktionen und Übertragungsrisiken von Krankheiten noch unbeantwortet. Das Feld der Xenotransplantation ist – ähnlich wie andere neuartige Technologien der Biomedizin zuvor, zum Beispiel Gentherapie, Immuntherapien gegen Krebs (CAR-T-Zell-Therapie) – auf dem Sprung in die Kommerzialisierung und ist damit ein potenzieller Gegenstand innovationspolitischer Entscheidungen.

Bevor Xenotransplantationen jedoch in eine breitere klinische Praxis und Vermarktung übergehen können, sind weitere medizinische, infrastrukturelle, regulatorische und ethische Herausforderungen zu bewältigen.

Fragen existieren beispielsweise hinsichtlich regulatorischer und infrastruktureller Voraussetzungen. So bestehen noch gewisse rechtliche Unsicherheiten, zum Beispiel fehlende explizite gesetzliche Regelung für solide Organe bei der Einstufung als ATMP, und offene Fragen, wie sich Xenotransplantationen in das bestehende Organspendesystem integrieren lassen. Zudem wären für die Verfügbarkeit xenogener Organe SPF-Zuchtanlagen erforderlich. In diesem Zusammenhang stellen sich Fragen nach Kosten, Genehmigungsverfahren, Biosicherheitsanforderungen, möglichen Standorten oder Fördermodellen. Da Xenotransplantation ein internationales Regulierungsthema ist, gälte es zu erörtern, mit welcher Position Deutschland in europäischen (EMA) und globalen Debatten, zum Beispiel in der FDA, der IXA und der World Health Organization (WHO/Weltgesundheitsorganisation), vertreten sein könnte.

Darüber hinaus könnten ethische und gesellschaftliche Dimensionen verstärkt in den Blick genommen werden, etwa in Bezug auf Tierschutz, gesellschaftliche Akzeptanz und Risikoabschätzung.

Vor diesem Hintergrund böte sich eine Behandlung des Themas im Rahmen einer TA-Kompakt-Studie zu den genannten Fragen an – mit Schwerpunkt auf einem Werkstattgespräch im Bundestag. Ausgehend von einem Thesenpapier könnten verschiedene relevante Akteursgruppen aus den Bereichen Forschung (Hochschulen, klinische Zentren), Industrie (Bio-Medtech-Firmen/Start-ups), Politik/Regulierung (PEI, BMG, EU-Organ), Patientenvertretung und Tierschutz/Ethik zu einer Debatte mit innovationspolitischer Ausrichtung eingeladen werden, um die unterschiedlichen Positionen und Interessen der verschiedenen Stakeholdergruppen zu erfassen. Die Ergebnisse würden zusammenfassend dokumentiert und mit Blick auf mögliche Handlungsoptionen ausgewertet.

Literatur

- ÄrzteZeitung (2023): Zweiter Patient mit Schweineherz gestorben. <https://www.aerztezeitung.de/Medizin/Zweiter-Patient-mit-Schweineherz-gestorben-444258.html> (24.11.2025)
- Biermann-Medizin (2024): Nieren-Xenotransplantationen in 2021: Neue Studie entdeckt frühe Anzeichen einer Abstoßung. <https://biermann-medizin.de/nierentransplantationen-in-2021-neue-studie-entdeckt-fruehe-anzeichen-einer-abstossung/> (10.12.2025)
- Bloom, E. T. (2001): Xenotransplantation: regulatory challenges. In: *Current Opinion in Biotechnology* 12(3), S. 312–316, [https://doi.org/10.1016/s0958-1669\(00\)00218-4](https://doi.org/10.1016/s0958-1669(00)00218-4)
- Byrne, G. W.; McGregor, C. G. A. (2025): 2025: status of cardiac xenotransplantation including preclinical models. In: *Frontiers in Transplantation* 4, Art. 1568910, <https://doi.org/10.3389/frtra.2025.1568910>
- Camenzind, S. (2023): Xenotransplantation. Neue gentechnische Möglichkeiten – neue ethische Fragen? Beiträge zur Ethik und Biotechnologie 16, Bern
- CoE (2003): Report on the State of the Art in the field of Xenotransplantation. Council of Europe, Straßburg
- Cohen, J. (2025a): Exclusive: Longest human transplant of pig kidney fails. *Science*, <https://doi.org/10.1126/science.zf6ro7f>
- Cohen, J. (2025b): Man's pig kidney fails just shy of setting record. *Science*, <https://doi.org/10.1126/science.zvfuj6e>
- Cohen, J. (2025c): The Organ Farm. Gene-edited pig kidneys are finally moving the long-stymied field of xenotransplantation forward. <https://doi.org/10.1126/science.zlopfu3>
- Cooper, D. K. C. et al. (2015): A brief history of clinical xenotransplantation. In: *International Journal of Surgery* 23(B), S. 205–210, <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2015.06.060>
- DBK (1998): Xenotransplantation. Eine Hilfe zur ethischen Urteilsbildung. Gemeinsame Texte Nr. 13. Deutsche Bischofskonferenz, o. O.
- Denner, J. (2021): Porcine Endogenous Retroviruses and Xenotransplantation, 2021. In: *Viruses* 13(11), Art. 2156, <https://doi.org/10.3390/v13112156>

- Deutsche Herzstiftung (2024): Spenderorganmangel: Herzstiftung für Initiative zur Widerspruchslösung, Frankfurt a. M. (Autor/innen: Wichert, M.; König, P.), <https://herzstiftung.de/service-und-aktuelles/presse/pressemitteilungen/organspende-widerspruchsloesung> (11.12.2025)
- Deutsches Ärzteblatt (2022): Xenotransplantation: Mensch lebt seit 3 Tagen mit Schweineherz. <https://www.aerzteblatt.de/news/xenotransplantation-mensch-lebt-seit-3-tagen-mit-schweineherz-01a98206-20a4-4b69-8d6d-25011d09c03c> (11.12.2025)
- Deutsches Ärzteblatt (2025a): FDA genehmigt Studie zur extrakorporalen Xenotransplantation der Leber. <https://www.aerzteblatt.de/themen/organtransplantation/fda-genehmigt-studie-zur-extrakorporalen-xenotransplantation-der-leber-48abfe10-45b0-4d24-9509-21f2e6bbcb2> (10.12.2025)
- Deutsches Ärzteblatt (2025b): Warum die zweite Xenotransplantation eines Herzens scheiterte. <https://www.aerzteblatt.de/news/warum-die-zweite-xenotransplantation-eines-herzens-scheiterte-b6b14418-c165-4ed0-9f13-5bca80649a3c> (10.12.2025)
- eGenesis (2025): eGenesis Announces IND Clearance for EGEN-2784 in Kidney Transplant and Landmark Patient Updates in Ongoing Expanded Access Study. <https://egenesisbio.com/press-releases/egenesis-announces-ind-clearance-for-egen-2784-in-kidney-transplant-and-landmark-patient-updates-in-ongoing-expanded-access-study/> (10.12.2025)
- EKD (1998): Xenotransplantation. Evangelische Kirche in Deutschland, https://www.ekd.de/xenotransplantation_1998_vorwort.html (10.12.2025)
- EMA (2025): Committee for Advanced Therapies (CAT): 10.-12. September 2025. European Medicines Agency, <https://www.ema.europa.eu/en/events/committee-advanced-therapies-cat-10-12-september-2025> (10.12.2025)
- Evers, R. R. (2019): Ein Tierherz für Menschen? Jüdische Allgemeine, <https://www.juedische-allgemeine.de/religion/ein-tierherz-fuer-menschen/> (10.12.2025)
- Feng, Q.; Shuo, Z. (2025): Pig kidney transplanted into renal disease patient. China Daily, <https://www.chinadaily.com.cn/a/202503/14/WS67d380b4a310c240449dab8e.html> (10.12.2025)
- Griffith, B. P. et al. (2022): Genetically Modified Porcine-to-Human Cardiac Xenotransplantation. In: *The New England Journal of Medicine* 387(1), S. 35–44, <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2201422>
- Griffith, B. P. et al. (2025): Transplantation of a genetically modified porcine heart into a live human. In: *Nature Medicine* 31(2), S. 589–598, <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03429-1>
- He, J. et al. (2025): Pig-to-human lung xenotransplantation into a brain-dead recipient. In: *Nature Medicine* 31, S. 3388–3393, <https://doi.org/10.1038/s41591-025-03861-x>
- Hu, X. et al. (2023): International Human Xenotransplantation Inventory. The Advent of Clinical Trials. In: *European Journal of Transplantation* 1(3), S. 252–256, <https://doi.org/10.57603/EJT-270>
- Huang, J. (2022): Expert consensus on clinical trials of human xenotransplantation in China. In: *Health Care Science* 1(1), S. 7–10, <https://doi.org/10.1002/hcs2.6>
- İlkiliç, İ.; Maaroufi, A. E. (2018): Xenotransplantation. Aspekte und Reflexionen aus islamischer Perspektive. In: Sautermeister, J. (Hg.): *Tierische Organe in menschlichen Körpern. Biomedizinische, kulturwissenschaftliche, theologische und ethische Zugänge zur Xenotransplantation.* Paderborn, S. 297–312
- Islamportal (2022): Transplantation von Tierorganen im Islam – Ein Tierherz für Menschen? <https://www.islamportal.at/beitraege/artikel/transplantation-von-tierorganen-im-islam-ein-tierherz-fuer-menschen> (10.12.2025)
- Iwanczyk, Z. et al. (2025): Contributions of Europeans to Xenotransplantation Research: 1. Pig Organ Xenotransplantation. In: *Transplant international* 38, Art. 14041, <https://doi.org/10.3389/ti.2025.14041>
- Kawai, T. et al. (2025): Xenotransplantation of a Porcine Kidney for End-Stage Kidney Disease. In: *The New England Journal of Medicine* 392(19), S. 1933–1940, <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2412747>
- Klinkhammer, G. (1998): Die Kirchen zur Xenotransplantation. *Deutsches Ärzteblatt*, <https://www.aerzteblatt.de/archiv/die-kirchen-zur-xenotransplantation-709c26df-e28f-4644-956f-0ee2600a952d> (24.11.2025)

- Kögel, J.; Marckmann, G. (2023): First-of-its-kind Xenotransplantation: Bedarf an ethischer Reflexion in Wissenschaft und Gesellschaft. In: Ethik in der Medizin 35(1), S. 137–143, <https://doi.org/10.1007/s00481-023-00750-0>
- Kotz, D. (2022): University of Maryland School of Medicine Faculty Scientists and Clinicians Perform Historic First Successful Transplant of Porcine Heart into Adult Human with End-Stage Heart Disease. University of Maryland, School of Medicine, <https://www.medschool.umaryland.edu/news/2022/university-of-maryland-school-of-medicine-faculty-scientists-and-clinicians-perform-historic-first-successful-transplant-of-porcine-heart-into-adult-human-with-end-stage-heart-disease.html> (10.12.2025)
- Kozlov, M. (2024): Pig-organ transplants: what three human recipients have taught scientists. In: Nature 629(8014), S. 980–981, <https://doi.org/10.1038/d41586-024-01453-2>
- Mao, H. et al. (2023): The prevention strategies of swine viruses related to xenotransplantation. In: Virology Journal 20(1), Art. 121, <https://doi.org/10.1186/s12985-023-02090-3>
- Meldolesi, A. (2025): Xenotransplants Edge Closer to Reality. CRISPeR FRENZY, <https://mycrispr.blog/2025/06/23/xenotransplants-edge-closer-to-reality/> (10.12.2025)
- Michel, S. (2008): Verlängertes Überleben von Pavianen unter moderater Immunsuppression nach orthotoper Xenotransplantation hDAF-transgener Schweineherzen. Dissertation, München
- Mohiuddin, M. M. et al. (2023): Graft dysfunction in compassionate use of genetically engineered pig-to-human cardiac xenotransplantation: a case report. In: Lancet 402(10399), S. 397–410, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)00775-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)00775-4)
- Montgomery, R. A. et al. (2022): Results of Two Cases of Pig-to-Human Kidney Xenotransplantation. In: The New England Journal of Medicine 386(20), S. 1889–1898, <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2120238>
- NKF (2025): Kidney Xenotransplantation. National Kidney Foundation, <https://www.kidney.org/kidney-topics/kidney-xenotransplantation> (10.12.2025)
- NYU Langone News (2021): NYU Langone Health Performs Second Successful Xenotransplantation Surgery. (Autor/in: DeVries, C.) <https://nyulangone.org/news/nyu-langone-health-performs-second-successful-xenotransplantation-surgery> (10.12.2025)
- Pan, W. et al. (2024): Cellular dynamics in pig-to-human kidney xenotransplantation. In: Med 5(8), S. 1016–1029, <https://doi.org/10.1016/j.medj.2024.05.003>
- PETA-Team (2025): Xenotransplantation: Transplantation von Tier zu Mensch – Infos. PETA Deutschland e. V. <https://www.peta.de/themen/xenotransplantation/> (10.12.2025)
- Porrett, P. M. et al. (2022): First clinical-grade porcine kidney xenotransplant using a human decedent model. In: American Journal of Transplantation 22(4), S. 1037–1053, <https://doi.org/10.1111/ajt.16930>
- Reichart, B. et al. (2021): Pathways to Clinical Cardiac Xenotransplantation. In: Transplantation 105(9), S. 1930–1943, <https://doi.org/10.1097/TP.0000000000003588>
- Revivicor (2020): GalSafe® Pigs Environmental Assessment. Blacksburg
- Saito, S. et al. (2024): How should cardiac xenotransplantation be initiated in Japan? In: Surgery Today 54(8), S. 829–838, <https://doi.org/10.1007/s00595-024-02861-7>
- Schicktanz, S. (2018): Xenotransplantation. In: Ach, J. S.; Borchers, D. (Hg.): Handbuch Tierethik: Grundlagen – Kontexte – Perspektiven. Stuttgart, S. 288–294, https://doi.org/10.1007/978-3-476-05402-9_49
- Schmoeckel, M. et al. (2024a): Current Status of Cardiac Xenotransplantation: Report of a Workshop of the German Heart Transplant Centers, Martinsried, March 3, 2023. In: The Thoracic and Cardiovascular Surgeon 72(4), S. 273–284, <https://doi.org/10.1055/a-2235-8854>
- Schmoeckel, M. et al. (2024b): Xenotransplantation von Organen. In: Chirurgie (Heidelberg, Germany) 95(8), S. 603–609, <https://doi.org/10.1007/s00104-024-02093-y>
- Science Media Center Germany (2022): Lehren aus der ersten Xenotransplantation eines Schweineherzens. Science Media Center Germany, <https://sciencemediacenter.de/angebote/lehren-aus-der-ersten-xenotransplantation-eines-schweinherzens-22069> (10.12.2025)
- Stingl, W. (2012): Schweine haben ein Herz für Menschen. ÄrzteZeitung, <https://www.aerztezeitung.de/Medizin/Schweine-haben-ein-Herz-fuer-Menschen-280710.html> (10.12.2025)
- Straßburger, J. (2018): Rechtliche Herausforderungen der Xenotransplantation. In: Sautermeister, J. (Hg.): Tierische

- Organe in menschlichen Körpern. Biomedizinische, kulturwissenschaftliche, theologische und ethische Zugänge zur Xenotransplantation. Paderborn, S. 311–331, https://doi.org/10.30965/9783957438386_021
- TAB (1999): Xenotransplantation. (Autor/innen: Petermann, T.; Sauter, A.) Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, TAB-Arbeitsbericht Nr. 64, Berlin, <https://doi.org/10.5445/IR/1000103306>
 - Tao, K.-S. et al. (2025): Gene-modified pig-to-human liver xenotransplantation. In: Nature 641(8064), S. 1029–1036, <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08799-1>
 - Tönjes, R. R. (2024): Aspects of Regulation of Xenotransplantation in Europe. In: Transplant International 37, Art. 13349, <https://doi.org/10.3389/ti.2024.13349>
 - Unither (2025): United Therapeutics Corporation Announces FDA Clearance of its Investigational New Drug Application for the UKidney Xenotransplantation Clinical Trial. United Therapeutics Corporation, <https://ir.unither.com/~media/Files/U/United-Therapeutics-IR/documents/press-releases/2025/2025-02-03-xeno-ind.pdf> (10.12.2025)
 - Vdek (2025): Daten zum Gesundheitswesen: Organspende. Verband der Ersatzkassen, <https://www.vdek.com/presse/daten/Organspende.html> (10.12.2025)
 - Wang, W. et al. (2022): First pig-to-human heart transplantation. In: Innovation 3(2), Art. 100223, <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2022.100223>
 - Xing, K. et al. (2025): Xenotransplantation in China: Past, Present, and Future. In: Xenotransplantation 32(2), Art. e70038, <https://doi.org/10.1111/xen.70038>
 - Zimmering, R.; Hammes, D. (2023): Bericht zur Repräsentativstudie 2022 „Wissen, Einstellung und Verhalten der Allgemeinbevölkerung zur Organ- und Gewebespende“. BZgA-Forschungsbericht. Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung, Köln

Herausgeber

Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag (TAB)

Bildnachweise

FangXiaNuo/iStock (S. 1); FG Trade/iStock (S. 2);
bsd studio/iStock (S. 3); da-kuk/iStock (S. 7);
mi-viri/iStock (S. 8)

ISSN: 2629-2874

DOI: 10.5445/IR/1000191042

Horizon SCANNING

Das Horizon-Scanning ist Teil der Foresight-Aktivitäten des TAB und wird vom Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH durchgeführt.

www.tab-beim-bundestag.de/horizon-scanning