WOZ, 10.4.2025

**Diesen Bakterienfressern gehört die Zukunft**

**Ein einzigartiges Institut in Georgien, das Stalins Terror und den Bürgerkrieg überstand, und Viren, die wirken, wo Antibiotika am Ende sind: Die abenteuerliche Geschichte der Bakteriophagen.**

VON FLORIANNE KOECHLIN, TBILISSI

Das Eliava Institut in Georgiens Hauptstadt Tbilisi ist ein unscheinbarer Komplex, eingeklemmt zwischen Autobahnen und Hochhäusern, schwer auffindbar. Niemand käme auf die Idee, dass hier ein renommiertes, weltweit einzigartiges Forschungsinstitut sein Domizil hat, zu dem eine ambulante Klinik, eine eigene Apotheke, ein Diagnostikzentrum und eine Produktionsanlage gehören. Hier werden Bakteriophagen erforscht, winzige Viren, die Bakterien vernichten. Seit die Antibiotika wegen Resistenzen gegen immer mehr Krankheitserreger wirkungslos werden, stossen die Bakteriophagen auf einmal auch ausserhalb Georgiens auf wachsendes Interesse. Jedes Jahr pilgern hunderte PatientInnen aus aller Welt hierher, mit schwersten, auch lebensbedrohlichen Infektionen, bei denen Antibiotika nichts mehr ausrichten. Die Mehrzahl von ihnen reist nach ein paar Wochen gesund wieder nachhause.

Wir sitzen im Büro von Mzia Kutateladze, der Direktorin des Eliava Instituts. Einen Termin bei ihr zu bekommen, war ziemlich schwierig, die Mikrobiologin ist eine gefragte Frau mit eng getakteter Agenda. Jetzt gerade steht eine wichtige internationale Konferenz bevor, an der sie den Eröffnungsvortrag halten wird. «Wir behaupten nicht, dass Phagen die Antibiotika vollständig ersetzen können», hält die temperamentvolle Frau mit schulterlangem Haar gleich zu Beginn fest. «Doch es gibt Umstände, unter denen man Phagen anstelle von Antibiotika einsetzen kann. Oder in Kombination mit Antibiotika». Gegen Berichte in Populärmedien, wonach hier sogenannte ‘Wundermittel’ entwickelt werden, verwahrt sie sich dezidiert, solche vereinfachende Schlagworte ärgern sie.

Bakteriophagen– wörtlich «Bakterienfresser» (von griechisch: phagein = fressen) - greifen nur Bakterien an, für unsere Zellen sind sie völlig harmlos; sie erkennen sie nicht. Und noch präziser: Ein Bakteriophage, oder kurz Phage, greift in der Regel nur eine einzige Bakterienspezies an. Jeder Phage braucht «sein» Bakterium, um sich fortzupflanzen[[1]](#footnote-1). Unter dem Elektronenmikroskop sehen diese Viren ziemlich futuristisch aus: Ein Kopf, der sein Erbgut (also seine DNA) enthält und ein Stiel, an dessen Ende sich fasrige Fortsätze befinden. So ein bisschen wie eine Mondlandefähre. Der Phage heftet sich an die Wand «seines» Bakteriums, bohrt ihn an und pumpt seine DNA ins Innere. Das Bakterium muss nun auf Befehl der Phagen-DNA neue Phagen produzieren, immer mehr, bis es platzt und die neuen Phagen freisetzt. Diese wiederum befallen neue Bakterien - es ist eine Kettenreaktion, je mehr Bakterien, umso besser wachsen die Phagen.[[2]](#footnote-2) Wenn alle Bakterien zerstört sind, verschwinden die Phagen wieder. Die Therapie begrenzt sich also selbst.

Mzia Kutateladze schenkt uns ein Glas Wasser ein, legt ihre hellblaue Brille auf den Tisch. Phagen, sagt sie, könnten gegen Darminfektionen eingesetzt werden, oder auch gegen Infektionen der untern und oberen Atemwege, gegen Knocheninfektionen, Entzündungen der Harnwege, manchmal in Kombination mit Antibiotika. Daneben können sie bei offenen Wunden, Brandwunden etwa, oder Diabetes mit offenen Zehen und eitrigen Infektionen heilend wirken. Besonders schwierig mit Antibiotika zu bekämpfen sind chronische Infektionen, bei denen sich Bakterien mit einer zähen Schleimschicht gegen die Abwehrmoleküle des Immunsystems schützen und auch Antibiotika kaum durchlassen. Manche Bakteriophagen hingegen können diese Schicht effizient durchdringen und die Bakterien töten.

«Seit 2015 sind mehr als 2400 PatientInnen aus 85 Ländern bei uns medizinisch betreut worden, viele erfolgreich», so Mzia Kutateladze. Nicht ohne Stolz zitiert sie eine Studie, die ein belgisches Konsortium vor kurzem im renommierten Fachjournal Nature Microbiology veröffentlicht hat[[3]](#footnote-3). Beteiligt waren über zwei Dutzend WissenschaftlerInnen aus verschiedenen Ländern, darunter auch sie. Die Dossiers von 100 schwer kranken PatientInnen wurden dafür detailliert analysiert. Alle hatten massgeschneiderte Phagentherapien bekommen, manchmal zusammen mit Antibiotika. Bei fast 80 Prozent trat eine Verbesserung ein, bei 61 Prozent verschwanden die krankmachenden Bakterien ganz.[[4]](#footnote-4)

«Natürlich sind das Einzelfälle, es ist keine klinische Studie, wie sie bei konventionellen Medikamenten gemacht werden», schränkt Mzia Kutateladze ein. «Mit Phagen wäre das gar nicht möglich, weil jeder Patient, jede Patientin ein anderes Phagenpräparat erhält, zugeschnitten auf ihre spezifischen krankmachenden Bakterien. Es ist eine in höchstem Mass personalisierte Medizin, also das Gegenteil einer Standardbehandlung.»[[5]](#footnote-5)

Um den «richtigen» Phagen zu finden, müssen erst die krankmachenden Bakterien identifiziert werden, aus einem Abstrich des infizierten Gewebes, einer Harn- oder Speichelprobe. Dann geht die Suche nach dem passenden Phagen los: Die pathogenen Bakterien werden auf einem festen Nährmedium (Agar-Platte) vermehrt und mit verschiedenen Phagen versetzt. Wenn ein Phage «seine» Bakterien zerstört hat, erscheint ein Loch im Bakterienrasen: Der richtige Phage ist gefunden.

Oft hilft dann schon ein standardisierter Phagen-Cocktail, eine Mischung aus verschiedenartigen Phagen[[6]](#footnote-6). Die Eliava-Produktionsanlage stellt sechs gebrauchsfertige Phagen-Cocktails her, die gegen Rezept in allen Apotheken Georgiens erhältlich sind. «Falls keiner der Standard-Cocktails hilft, suchen wir weiter in der institutsinternen Phagen-Sammlung», so Mzia Kutateladze.[[7]](#footnote-7)

«Ich habe gelesen, dass Sie hier 2000 Phagen-Proben aufbewahren», frage ich. Mzia Kutateladze verwirft die Hände. «Das ist Unsinn, eine typische Falschmeldung eines Journalisten. Die Zahl ändert sich ständig. Phagenproben werden immer wieder neu an Bakterienstämme angepasst, weil die sich im Laufe der Zeit verändern und untereinander genetisches Material austauschen. Und neue kommen dazu – das ist ein dynamischer Prozess.» Wer eine genaue Zahl nenne, habe das Grundprinzip nicht verstanden.

Finden sich im Phagen-Archiv keine passenden Phagen, suchen sie weiter. Und zwar an Orten, wo es besonders viele krankmachenden Bakterien hat, in Spitalabfällen etwa oder im Abwasser des Mtkvai-Flusses, der gleich unter dem Eliava-Institut hindurchfliesst. Dort wimmelt es nur so von Bakterien – und entsprechend vielen verschiedenen Bakteriophagen.

Sind die gesuchten Phagen gefunden, werden sie in mehreren Schritten vermehrt, untersucht, gereinigt und so aufbereitet, dass sie verabreicht werden können, als Getränk, Salbe, Tabletten oder Zäpfchen. Die Behandlung dauert unterschiedlich lang, mindestens aber zwei Wochen. Manchmal erstreckt sie sich aber auch auf bis zu drei Monate, je nach Schwere der Krankheit. Eine Phagentherapie kostet die PatientInnen aus dem Ausland zwischen 600 und 5000 Euro. Ein wichtiger Vorteil von Phagentherapien ist, dass sie, im Unterschied zu Antibiotika[[8]](#footnote-8), kaum Nebenwirkungen haben. Höchstens kommt es einmal zu leicht erhöhter Temperatur oder – bei lokaler Anwendung – zu einer leichten allergischen Reaktion[[9]](#footnote-9).

Auf dem Tisch neben Mzia Kutateladze in ihrem nüchternen Büro steht das Foto eines eleganten, charmant lächelnden Herrn. Es ist Giorgi Eliava, der das Institut 1923 gegründet hat. Was er in Tbilisi mit grossem Elan und in enger Zusammenarbeit mit dem Pariser Pasteur-Institut aufbaute, wurde eine wissenschaftliche Erfolgsgeschichte. Eliava selbst allerdings erregte mit seinem Netz von Auslandskontakten schon bald das Misstrauen der sowjetischen Geheimdienste. 1937, auf dem Höhepunkt des Stalinterrors, wurde er verhaftet und nach einem kurzen Schauprozess erschossen. Man warf ihm vor, ein Agent feindlicher Mächte zu sein und in deren Auftrag Angriffe mit Bakterien auf die Bevölkerung geplant zu haben. Das Institut blieb bestehen, aber viele von Eliavas wertvollen wissenschaftlichen Unterlagen wurden zerstört, sein Name getilgt und selbst die meisten Photos, auf denen er zu sehen war, vernichtet.

Giorgi Eliava, der einen Teil seines Studiums in Genf absolviert hatte, war durch seine Begegnung mit dem frankokanadischen Biologen Félix Hubert d’Hérelle zur Phagenforschung gekommen. D’Hérelle hatte die Wirkungsweise der Phagen 1917 als einer der ersten beschrieben, nachdem er festgestellt hatte, dass etwas ihm Unbekanntes Ruhrbazillen abtöten konnte. Bei seinen Wissenschaftskollegen am Pasteur-Institut fand er damit kein Gehör, anders aber bei Giorgi Eliava. Der hatte etwas ähnliches bei Cholerabakterien beobachtet und arbeitete dann mehrere Jahre in Paris mit d’Hérelle zusammen. Als in den 1940er-Jahren die Antibiotika aufkamen wurden, schwand in den westlichen Ländern das Forschungsinteresse an Phagen dann aber dramatisch.

Ganz anders in der Sowjetunion. Antibiotika waren hier Mangelware. Während des Zweiten Weltkrieges lief die Phagenproduktion auf Hochtouren, interessiert war daran allen voran die Armee. Soldaten mit schweren Verletzungen, offenen Wunden, mit Typhus und Ruhr wurden mit Phagen behandelt. In Stalingrad konnte 1942/43 ein Cholera-Ausbruch in der Bevölkerung dank Phagen gestoppt werden. Mitte der 80er-Jahre beschäftigte das Institut 800 Angestellte und produzierte 80 Millionen Tabletten jährlich. Die Blütezeit des Eliava-Instituts dauerte bis Ende der 80er-Jahre.

Dann kam1990 der Absturz. Der Schweizer Biologe und Journalist Thomas Häusler, ein profunder Kenner der Phagen-Geschichte, beschreibt in seinem lesenswerten Buch «Gesund durch Viren»[[10]](#footnote-10) die nun folgende Krise - die ausgerechnet durch Michail Gorbatschows Glasnost und Perestroika ausgelöst wurde. Zwar verbesserte sich das politische Klima, das Institut durfte nun endlich den Namen seines Gründers tragen. Doch als sich Georgien 1990 für die Unabhängigkeit von der Sowjetunion entschied, kam aus Moskau bald kein Geld mehr. Löhne konnten nicht mehr bezahlt werden, Strom fiel oft aus, die Wasserversorgung wurde prekär. Die Phagen-Produktion wurde eingestellt, die Fabrikhallen mit den riesengrossen Fermentern wurden erst für ein Butterbrot verkauft, bald wurde die Produktion ganz eingestellt.

Nur eine kleine Forschungsgruppe blieb im Institut und hangelte sich durch die Krise.[[11]](#footnote-11)

Es waren furchtbare Zustände. In Georgien kam es zum Bürgerkrieg, das Land stürzte in Chaos, Korruption war allgegenwärtig. Mzia Kutateladze, die 1987 am Institut ihre Diplomarbeit abgeschlossen hatte, arbeitete damals schon hier. Das kleine Team musste seine wenigen verbliebenen Labors und Büros gegen Diebstahl und Plünderungen verbarrikadieren. Im Winter war es eiskalt, in der wärmeren Jahreszeit stickend heiss. Wenn der Strom wieder einmal ausfiel, nahmen die ForscherInnen die wertvollen Phagenproben in Fläschchen nach Hause und sicherten sie in ihren privaten Kühltruhen, bis die Kühlgeräte wieder liefen. Dieser Notstand dauerte ein paar Jahre, dann kam langsam wieder Geld, von privaten Spendern, den USA, der EU und vom Staat Georgien.

Mzia Kutateladze erinnert sich gut an jene Zeit, auch ihr Kühlschrank war manchmal voller Phagenfläschchen. «Erst war ich Labortechnikerin, dann Junior-Wissenschafterin, dann Wissenschaftlerin, Senior-Wissenschaftlerin, Laborleiterin und so weiter, bis ich Direktorin wurde.»

Im Westen fristen Phagentherapien aber weiterhin ein Nischendasein. Gegenüber Antibiotika haben sie zwei Nachteile: Während Antibiotika oft sehr schnell wirken und viele von ihnen gegen verschiedene Krankheitserreger gleichzeitig wirken, müssen Phagen oft erst gezielt gesucht werden, wirken sehr spezifisch wirken, und die Behandlung braucht Zeit. Doch das ist nicht die ganze Geschichte, es gibt auch politische Aspekte. Nach dem zweiten Weltkrieg, zu Zeiten des kalten Krieges, kamen gemeinsame Projekte zwischen Ost und West meist zum Erliegen. Alles «kommunistische», auch die sowjetische Wissenschaft[[12]](#footnote-12), galt als suspekt. Viele Phagenstudien wurden in russischen oder georgischen Journals veröffentlicht, die im Westen kaum zugänglich waren und keine Beachtung fanden.

Aber das ändert sich jetzt gerade, vor allem wegen des alarmierenden Anstiegs von Antibiotikaresistenzen. Allein in der Schweiz sterben jedes Jahr rund 300 Personen aufgrund von Antibiotikaresistenzen[[13]](#footnote-13). Und bei noch viel mehr Personen mit

chronischen Infekten, offenen Wunden, Geschwüren oder amputierten Gliedmassen können nicht geheilt werden, weil Antibiotika nicht mehr wirken.[[14]](#footnote-14)

Heute forschen weltweit mehrere Institutionen an Phagen. So etwa das Nationale Zentrum für Phagentherapie an der Hochschule Hannover oder das Queen Astrid Military Hospital in Brüssel, das neben dem Eliava-Institrut eine der grössten Phagenbanken unterhält und auch andere Kliniken berät, das Hospice Civils in Lyon, die Yale-Universität in den USA oder das Phage Westmead Institute for Medical Research in Australien und etliche mehr. Eine internationale Phagenplattform ermöglicht den Austausch unter Instituten, Spitälern und Unternehmen. Auch das Eliava-Institut ist gut vernetzt und kooperiert mit zahlreichen Universitäten und Instituten. «Da kommt uns auch entgegen, dass die Technik in letzten Jahren ganz enorme Fortschritte gemacht. Wir können etliches auslagern,» sagt Mzia Kutateladze. «Phagenproben zum Beispiel schicken wir nach Belgien[[15]](#footnote-15), um ihr Erbgut zu entschlüsseln -– das ist billig und geht schnell. Das machen auch westliche Institute so. Noch vor ein paar Jahren war die Entschlüsselung des Erbguts eines Phagen unglaublich mühsam, zeitaufwendig und teuer – heute ist sie das nicht mehr.»

Aber: All dieser neueren Forschung zum Trotz stossen MedizinerInnen im Westen auf lauter Hindernisse, wenn sie Phagentherapien an Patientinnen und Patienten anwenden wollen. Denn die Phagen sind ein in der heutigen medizinischen Landschaft völlig fremdes Konzept: Eine alte Heilmethode, die keine standardisierten Pillen hervorbringt, sondern lebende Viren, die sich auch noch ständig weiterentwickeln. Sie passen nicht in die europäischen Richtlinien zur Zulassung von Medikamenten oder die Regeln der amerikanischen Food and Drug Administration FDA. Ganz anders als Antibiotika und andere zugelassene Medikamente, deren chemische Zusammensetzung bekannt ist und immer gleich ist, sind Phagentherapien im hohem Masse personalisierte Therapien. Und selbst die sechs standardisierten Phagen-Cocktails müssen von Zeit zu Zeit neu angepasst werden, weil sich die pathogenen Bakterien ständig verändern und untereinander genetisches Material austauschen.[[16]](#footnote-16) Zudem gibt es noch keine grossen klinischen Studien, wie sie für eine Zulassung nötig wären.[[17]](#footnote-17) Solche Studien sind extrem teuer, kosten oft zwei- bis dreistellige Millionenbeträge[[18]](#footnote-18), und sie dauern Jahre[[19]](#footnote-19). Grosse Pharmafirmen, die solche Kosten stemmen könnten, zeigen bisher wenig Interesse.

Doch in einigen Ländern, so in Belgien, England, Portugal oder Australien gibt es inzwischen Extraregelungen, die eine erleichterte Zulassung von Phagentherapien ermöglichen. Nicht so in der Schweiz, wo sie nur im äusserstenNotfall und wenn nichts anderes mehr hilft, bewilligt werden. In Deutschland ist es ebenfalls sehr schwierig und von Bundesland zu Bundesland verschieden. So muss etwa Christian Kühn von der Medizinischen Hochschule Hannover zu seinem grossen Bedauern die allermeisten Anfragen für Phagentherapien wegen der fehlenden Zulassung abschlägig beantworten. Bei den Wenigen, die er trotzdem behandeln konnte, ist die Erfolgsquote beeindruckend: Von 30 PatientInnen mit schweren chronischen Blaseninfektionen, die er und sein Team bis Ende 2023 behandelte, wurden 27 geheilt. Um Phagen bekannter zu machen, veröffentlichte er zusammen mit Thomas Häusler 2022 das Buch «Bakteriophagen»[[20]](#footnote-20), eine Art Ratgeber für Phagentherapien in Europa, mit praktischen Tipps und vielen Hintergrundinformationen.

Mzia Kutateladze sagt: «Unser Problem ist,dass es bisher keine internationalen Standards für die Phagenproduktion und Anwendung gibt. Phagen können nicht den gleichen Regulatorien unterworfen werden wie etwa Antibiotika. Da braucht es neue Konzepte. Jetzt sitzen wir alle zusammen und versuchen, neue Standards auszuarbeiten.»

\*

In der Schweiz kam es 2023 am Universitätsspital Genf zur ersten Phagentherapie: Ein 41-jähriger Mann musste wegen einer chronischen Lungenentzündung seit Jahren immer wieder ins Spital, zuletzt sieben Monate ununterbrochen. Trotz ständiger intravenöser Antibiotikabehandlung wurde er nicht gesund, weil der Krankheitserreger *Pseudomonas aeruginosa* gegen alle Antibiotika resistent war. In diesem äussersten Notfall gab die Kontrollbehörde Swissmedic ihre Erlaubnis für eine Phagentherapie. Also ersuchte das Genfer ExpertInnenteam weltweit ihre KollegInnen um Hilfe. MikrobiologInnen der amerikanischen Yale-Universität fanden in ihrer Phagenbank den passenden Phagen und schickten ihn nach Genf. Der Patient erhielt die Phagen als Aerosol, womit sie direkt zu den Bakterien gelangten. Innerhalb weniger Tage verbesserte sich sein Zustand deutlich. Heute ist er gesund. Ohne Phagentherapie wäre er gestorben.

1. C2: Es gibt lysogenische Phagen, die ihre DNA ins Erbgut eines Bakteriums einfädeln und mit diesem weiterleben, ohne das Bakterium zu töten. Die lytischen Phagen hingegen vermehren sich im Bakterium und töten es. Diese werden für Phagentherapien gebraucht. Es gibt viele Phagenarten mit ganz unterschiedlichem Aussehen. Phagen für Therapien gegen krankmachende Bakterien gehören meistens zur Ordnung Caudovirales. Caudiovirales bedeutet „Schwanzviren“ mit Proteinkopf und Schwanz. Schwanzrezeptoren erkennen (etc9 Referenz9) [↑](#footnote-ref-1)
2. Ein Beispiel: Typische E-Coli-Phagen setzen nach einem Infektionszyklus von 15 bis 45 Minuten 100 bis 300 Nachkommen frei. Das bedeutet: Wenn genügend E-Coli-Bakterien und Nährstoffe vorhanden sind, kann ein Phage in nur wenigen Stunden Milliarden neuer Phagen erzeugen. (10). [↑](#footnote-ref-2)
3. Pirnay J.P. et al, 2024. Personalized bacteriophage therapy outcomes for 100 consecutive cases: a multicentre, multinational, retrospective observational study.Nature Microbiology, 1434-1453 [↑](#footnote-ref-3)
4. Nicht immer sind Phagentherapien erfolgreich. Das kann daran liegen, dass nicht genug oder die falschen Phagen appliziert wurden. Und manchmal erwerben Bakterien eine Resistenz gegen Phagen. Es gibt auch gefährliche Bakterien wie etwa die Helicobacter-Bakterien, die Verursacher von die Magen- und Darmentzündungen oder auch bestimmte Arten von Magenkrebs, gegen die noch keine Phagen bekannt sind. [↑](#footnote-ref-4)
5. Die AutorInnen der belgischen Studie (2024) schreiben: «Wir sind uns bewusst, dass unsere Analyse, an der 100 schwer kranke Patienten teilnahmen, für die die Bakteriophagen eine Rettungstherapie darstellte und unser primäres Ziel darin bestand, diesen Patienten zu helfen, inhärente Einschränkungen aufweist. Es gab keine Kontrollgruppen, keine Verblindung oder Randomisierung, und es waren verschiedene medizinische Fachrichtungen und Infektionsarten beteiligt. Die Bewertung der Sicherheit und Effizienz basierte nicht auf vordefinierten standardisierten Tests, sondern auf dem Urteil der behandelnden Ärzte, und obwohl sie alle erfahren waren, führt dies zu einer gewissen Subjektivität.» Pirnay J.P. et al, 2024. Personalized bacteriophage therapy outcomes for 100 consecutive cases: a multicentre, multinational, retrospective observational study. Nature Microbiology, 1434-1453 [↑](#footnote-ref-5)
6. (Mö: 58)Ein Phagen-Coctail kann zum Beispiel gegen diverse Bakterien wie *Shigella, Salmonella, Proteus, Staphylococcus, Pseudomonas, E.Coli* und andere Keime eingesetzt werden. [↑](#footnote-ref-6)
7. Die Phagenproben werden in der Regel bei 4 bis 5 Grad Celcius gelagert. Es gibt Proben, die aus einer einzigen Phagenspezies bestehen und solche aus einer Kombination verschiedener Arten. Jede Phagenprobe ist gut charakterisiert (zB Wirtebereich oder einer Genomkarte). [↑](#footnote-ref-7)
8. Von Antibiotika hingegen sind viele Nebenwirkungen bekannt, unter anderem, weil sie auch «gute» und nützliche Bakterien vernichten. Das kann u.a. zu Magen- und Darmbeschwerden, zu Durchfall und Übelkeit führen. Es gibt auch schwerwiegende Nebenwirkungen von Antibiotika, so u.a. Sehnenentzündungen, Depressionen, Nierenschäden oder Beeinträchtigung der Sinnesorgane (sehen, hören, schmecken, riechen). [↑](#footnote-ref-8)
9. (Mö S. 121) Bakterien können gegen Phagen resistent werden. Das versucht man zu umgehen, indem man Bakterien auf einen Schlag mit einer hohen Menge an Phagen behandelt, oft nur kurzzeitig, schnell genug, dass die Bakterien keine Resistenzen entwickeln können. Ein weiteres Risiko besteht darin, dass Bakterienbruchteile oder fremde Gene die Phagenproben verunreinigen. Doch mit den neuen Techniken kann das Erbgut von Phagen vollständig sequenziert und Verunreinigungen praktisch ausgeschlossen werden. [↑](#footnote-ref-9)
10. Häusler T., 2002, «Gesund durch Viren», Piper, S. 171ff [↑](#footnote-ref-10)
11. Mzia Kutateladze : Während der Sowjetzeit bestand das Institut aus zwei Teilen - einem wissenschaftlichen und einem Produktionsbereich. Nach dem Zusammenbruch „verschwand“ die Produktionsstätte, in der etwa 800 Menschen arbeiteten, da sie privatisiert wurde, aber der wissenschaftliche Teil blieb vollständig erhalten und wurde ausgebaut. [↑](#footnote-ref-11)
12. Ausführen: Lysenko [↑](#footnote-ref-12)
13. Die EU-Gesundheitsbehörde ECDC berichtet, dass im europäischen Raum jährlich mehr als 35'000 Menschen aufgrund von Antibiotika-Resistenzen sterben. Die gesundheitlichen Folgen seien vergleichbar mit denen von Grippe, Tuberkulose und HIV/Aids zusammen. https://www.ecdc.europa.eu/en/antimicrobial-resistance [↑](#footnote-ref-13)
14. 2024 listet die WHO 24 Pathogene, also bakterielle Krankheitserreger (aus 15 Familien), die gegen Antibiotika resistent sind, so zum Beispiel *mycobacterium tuberculosis*, und andere Pathogene wie  *Salmonella*, *Shigella*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Pseudomonas aeruginosa*, oder *Staphylococcus aureus*. RiMö I, S.143 Die Liste kategorisiert diese antibiotikaresistenten Pathogene in kritische, hohe und mittlere Prioritätsgruppen.. [↑](#footnote-ref-14)
15. Queen Astrid Military Hospital in Brüssel [↑](#footnote-ref-15)
16. Mzia Kutaladze schreibt: «Phagen sollten als Therapie nicht denselben Regulatorien unterliegen wie Antibiotika. Phagencoctails gegen diverse bakterielle Pathogene müssen ständig angepasst werden, um Schritt zu halten mit den laufend auftretenden neuen Stämmen oder Spezies. Das geht nur, wenn man Phagenpräparate als als Biologische Produkte statt als Pharmazeutische Produkte bezeichnet. Die Hauptschwierigkeit für die flächendeckende Anwendung von Phagen in grossangelegten klinischen Studien betrifft die Regeln der U.S. FDA (Zulassungsbehörde) oder die Europäischen Richtlinien. Diese Verfahren sind normalerweise sehr teuer und brauchen Jahre. Ohne umfangreiches Interesse von grossen Pharmafirmen, das es bisher nicht gibt, ist es schwierig, sich vorzustellen, dass Phagentherapien breite Akzeptanz oder Anwendung in der westlichen Welt in naher Zukunft erfährt.»

In Moelling K., 2020, ‘Kampf den Keimen. Mit Viren aus der Antibiotika Krise?’ , Verlag Dr. Friedrich Pfeil, S. 63 [↑](#footnote-ref-16)
17. Für eine Zulassung eines Arzneimittels besteht eine grosse Palette von Anforderungen: Herstellung gemäß GMP , präklinische Studien, klinische Studien der Phasen I, II und III und Marktzulassung. Ausführen -S. Mölling. Google: Unter GMP (aus dem Englischen „Good Manufacturing Practice“ = Gute Herstellungspraxis) versteht man den Teil der Qualitätssicherung, welcher gleichbleibende Qualitätsstandards bei der Produktion und Prüfung von Arzneimitteln oder Wirkstoffen sicherstellt. [↑](#footnote-ref-17)
18. Thomas Häusler und Christian Kühn schreiben «Das Phagenunternehmen Pherecydes schätze solche Kosten auf 8 bis 12 Millionen Euro.(…) Verschiedene Untersuchungen kommen allerdings zum Schluss, dass eine klinische Studie im Infektionsbereich sogar zwischen 26 und 102 Millionen Dollar kostet.»Häusler T. und Kühn C., 2022, Bakteriophagen. Südwest, S. 90 [↑](#footnote-ref-18)
19. Mzia Kutateladze sagt: In der Vergangenheit seien im Osten grosse klinische Studien über die Wirksamkeit von Phagentherapien erstellt worden, vom Westen unbeachtet. Doch diese genügten den heutigen Anforderungen nicht mehr. Zwei Beispiele: Während des russisch-finnischen Krieges 1939-1940 wurden eine klinische Studie bei über 10'000 Soldaten mit offenen Wunden durchgeführt. Eine Hälfte erhielt eine Placebolösung, die andere eine Phagenlösung gegen *Staphylococcus* und *Streptococcus* vom Eliava-Institut. Von den Placebo-Empfängern erkrankten 4,3 Prozent an Wundbrand (Gangrän), bei Phagenempfängern nur 1,5 Prozent. Oder: In Tbilisi wurde 1963/1964 die Wirksamkeit von Phagen als Prophylaxe gegen Ruhr bei Kindern getestet. 30'000 fünfjährige Kinder erhielten entweder eine Placebo- oder eine Phagenlösung. Placebo behandelte Kinder erkrankten 3,8 mal häufiger an akuter Ruhr als solche, die Phagenlösungen erhielten.

Chanishvili N., 2012, Phage-therapy – history frm Twort and d’Herelle through Soviet experience to current approaches. Adv.Virus Res., S83, S.3-40. (s.auch: Wittebole X. und Opal S. in Witzany G (Hg), 2020,S. 371ff) [↑](#footnote-ref-19)
20. Häusler T. und Kühn C., 2022, Bakteriophagen». Südwest. Christian Kühn ist Professor an der Medizinischen Hochschule Hannover und Leiter des deutschen Nationalen Zentrums für Phagentherapie. [↑](#footnote-ref-20)