

(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt



(10) **DE 101 44 906 B4 2013.11.28**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 44 906.2**

(51) Int Cl.: **A61K 39/12 (2006.01)**

(22) Anmelddatum: **12.09.2001**

C12N 7/00 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: **27.03.2003**

A61P 31/12 (2006.01)

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **28.11.2013**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Novartis Vaccines and Diagnostics GmbH, 35041,
Marburg, DE**

(72) Erfinder:

**Gregersen, Jens-Peter, Dr., 35083, Wetter, DE;
Vorlop, Jürgen, 35041, Marburg, DE; Frech,
Christian, 35041, Marburg, DE; Lübben, Holger,
Dr., 35083, Wetter, DE**

(74) Vertreter:

Uexküll & Stolberg, 22607, Hamburg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 196 12 966 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur großtechnischen Herstellung von Impfstoffen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur großtechnischen Herstellung von Impfstoffen, bei dem man:

(a) eine MDCK-Suspensionskultur in einem Serum-freien, Protein-freien oder chemisch definierten Medium vermehrt, wobei

(i) die Vermehrung in einem Fed-Batch-System erfolgt, (ii) das Kulturvolumen durch Zugabe von frischem Medium vergrößert wird, und

(iii) ein Produktionsvolumen von mehr als 100 l erreicht wird, (b) die MDCK-Suspensionskultur mit einem Virus infiziert, (c) die Viren in der MDCK-Suspensionskultur vermehrt, und (d) die Viren oder ein von diesen erzeugtes Protein aus der Zellkultur isoliert.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren zur großtechnischen Herstellung von Impfstoffen.

[0002] Infektionskrankheiten, insbesondere virale Infektionen, haben nach wie vor große medizinische Bedeutung. Es besteht daher unverändert die Notwendigkeit bessere Verfahren zur Verfügung zu stellen, mittels derer Viren in Kultur vermehrt werden können, um die Erforschung der Viren und die Herstellung von Impfstoffen zu ermöglichen. Insbesondere die Produktion von Impfstoffen gegen virale Infektion erfordert üblicherweise die Vermehrung und Isolierung großer Mengen des betreffenden Virus.

[0003] In Abhängigkeit des jeweiligen Virus werden im Stand der Technik unterschiedliche Wirtssysteme und Kultivierungsbedingungen zur Virusvermehrung verwendet. Als Wirtssysteme kommen standardmäßig Wirtstiere, embryonierte Hühnereier primäre Gewebezellkulturen oder etablierte, permanente Zelllinien zur Anwendung (Rolle und Mayr [Hersg.], Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre, 1978; Mahy [Hersg.], Virology, A Practical Approach, 1985; Horzinek [Hersg.] Kompendium der allgemeineine Virologie, 1985).

[0004] Die Virusvermehrung in embryonierten Hühnereiern ist mit hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Die Eier müssen vor der Infektion bebrütet und anschließend auf Lebensfähigkeit der Embryonen hin getestet werden. Nur lebende Embryonen sind in der Lage sind, Viren zu vermehren. Nach erfolgter Infektion mit dem zu vermehrenden Virus und weiterer Bebrütung werden die Embryonen schließlich abgetötet. Die aus den Eiern isolierbaren Viren werden von Verunreinigungen befreit und konzentriert. Da die Vermehrung von Viren in bebrüteten Eiern nicht unter strikt sterilen Bedingungen möglich ist, müssen kontaminierende pathogene Mikroorganismen aus den Isolaten entfernt werden, sofern diese einer medizinischen oder diagnostischen Applikation zugänglich sein sollen.

[0005] Eine Alternative zur Vermehrung von Viren in Hühnereiern bieten eukaryontische Wirtszellen definierter Zelllinien (Gregersen, J. P., Pharmazeutische Biotechnologie, Kayser und Müller [Hersg.], 2000, Seiten 257–281). Zahlreiche Zelllinien sind jedoch aufgrund von persistenten Fremdvirus-Kontaminationen bzw. aufgrund mangelnder Beweise für die Virusfreiheit, unklarer Herkunft und Historie nicht für die Herstellung von Impfstoffen oder ähnlichen medizinisch verwendbaren Präparaten geeignet.

[0006] Demgegenüber handelt es sich bei den aus Nierenzellen von Affen abgeleiteten Vero-Zellen um ein Wirtssystem, das bereits bei der Vermehrung einzelner Viren (Poliovirus, Tollwutvirus) zur Impfstoffherstellung eingesetzt wird. Diese Zellen sind bei diversen Zellbanken (wie beispielsweise der American Type Culture Collection, ATCC) erhältlich und werden darüber hinaus auch von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) aus einer geprüften Zellbank für die medizinische Forschung zur Verfügung gestellt.

[0007] Bei diesen Vero-Zellen handelt es sich um adhärente Linien, die für ihr Wachstum Trägerflächen, wie beispielsweise Glasflaschen, Plastikkulturschalen oder Plastikflaschen benötigen. Bei einer Kultur entsprechender Zellen im Fermenter erfolgt das Wachstum an sogenannten Microcarriern, d. h. in der Regel kleinen Kunststoffkügelchen, auf deren Oberfläche die Zellen wachsen können.

[0008] Bekannt ist, dass neben den obengenannten Vero-Zellen beispielsweise auch adhärente BHK-(“Baby Hamster Kidney”) und adhärente MDCK-(“Mandine Darby Canine Kidney”)Zellen und andere Zellen mehrere Virusarten aktiv vermehren können und für den Einsatz als Substrat zur Herstellung pharmazeutischer Produkte eingesetzt werden oder deren Einsatz erwogen wird. In der MDCK-Zelllinie ATCC CRL34 (NBL-2) wurden neben Influenzaviren experimentell auch das Vesicular Stomatitis Virus, das Coxsackievirus B5 (nicht aber B3 oder B4), das Rheovirus-Typ 2 und 3, das Adenovirus-Typ 4 und 5 sowie Vaccinia-Viren vermehrt. Alle entsprechenden Veröffentlichungen richten sich jedoch ausschließlich auf adhärente Kulturen (vgl. Produktinformation ATCC). Für die Vermehrung von größeren Zellmengen ist jedoch die Suspensionskultur bevorzugt, wobei nur die lymphoiden und manche transformierten Zellen in diesem System bisher vermehrt werden können (Lindl [Hersg.], Zell- und Gewebekultur, 2000, Seiten 173 ff.). Eine MDCK-Zelllinie, die in Protein-freien Kulturmedien in Suspension zu wachsen vermag, wird in WO 97/37000 offenbart. Die Vermehrung von Influenzaviren unter Verwendung der entsprechenden Wirtzellen wird ebenfalls beschrieben.

[0009] Neben der Auswahl eines geeigneten Zell- bzw. Wirtssystems sind die Kultivierungsbedingungen, unter denen ein Virusstamm vermehrt wird für das Erreichen einer akzeptablen hohen Ausbeute ebenfalls von großer Bedeutung. Um die Ausbeute des erwünschten Virusstammes zu maximieren, müssen daher sowohl Wirtssystem als auch Kultivierungsbedingungen spezifisch angepasst werden, um für den gewünschten Virusstamm günstige Umgebungsbedingungen zu erreichen. Um eine hohe Ausbeute der unterschiedlichen Virusstämme zu

erreichen, wird daher ein System benötigt, das optimale Wachstumsbedingungen schafft. Viele Viren sind auf spezielle Wirtssysteme beschränkt, von den einige hinsichtlich der Virusausbeute sehr ineffizient sind. Effiziente Produktionssysteme basieren zudem oft auf Adaptionen der Viruspopulation an das jeweilige Kultursystem, oft unter Verwendung von Zwischenstufen mit Verwendung anderer Wirtssysteme und unter Anwendung von Proteinzusätzen – meist Serum – tierischen oder menschlichen Ursprungs.

[0010] Einschlägig erfahrenen Personen ist ferner bekannt, dass fast alle Zellkulturen nach anfänglicher Vermehrung unter Zusatz von Serum oder anderen Wachstumsfaktoren zumindest für eine gewisse Zeit ohne Serum- oder Proteinzusätze gehalten werden können. So kann beispielsweise eine beliebige Zellkultur zum Zeitpunkt der Virusinfektion oder kurz vor der Ernte auf Medium ohne Serum oder Proteinzusätze umgestellt werden und bis zur Ernte weiter gehalten werden. Dies ist seit Jahren gängige Praxis, um unter Vermeidung bzw. Reduktion von Fremdproteinen Virusmaterial für Impfstoffe oder diagnostische Tests zu gewinnen. Impfstoffe aus Zellkulturen, die ohne diese Praxis während der Infektionsphase unter Serumzusatz gehalten wurden, werden größere Probleme haben, zur Anwendung bei Mensch oder Tier zugelassen zu werden, da sich die Serumbestandteile kaum noch hinreichend entfernen lassen (vgl. WHO-Empfehlungen "Proposed requirements for Measles Vaccine" (Live), Requirements for Biological Substances No. 12, Revised 1978).

[0011] Bekannt ist auch, dass manche Viren sich in proteinhaltigen Medien nur sehr schlecht oder gar nicht vermehren lassen. Es handelt sich dabei um solche Viren, die für ihre Vermehrung in Kultursystemen auf die Aktivität proteinspaltende Enzyme (Proteasen) angewiesen sind. Da diese Proteasen durch die Proteinzusätze zum Medien kompetitiv gehemmt werden, verbietet sich hier logischerweise der Zusatz von Proteinen zumindest ab dem Zeitpunkt der Infektion oder Produktionsphase. Beispiele für Viren, die üblicherweise unter Zusatz von Proteasen und somit zur Erzielung guter Ausbeuten möglichst ohne Proteinzusätze zum Infektionsmedium vermehrt werden müssen, sind Influenzaviren und Rotaviren. Andere Virusarten wie z. B. Paramyxoviren und Reoviren können ebenfalls bei der Vermehrung von möglichst proteinarmen Medien profitieren (Ward et al. (1984) J.Clin.Microbiol. 748–753 "Efficiency of Human Rotavirus Propagation in Cell Culture"). WO 96/15231 schlägt vor, Vero- und andere Zellen in Zellkultur zu ziehen, wobei ein Medium verwendet werden soll, dass ohne die üblichen Protein-Zusätze auskommt.

[0012] Andere Viren lassen sich unabhängig von der Mediumzusammensetzung und den Kulturbedingungen notorisch schlecht vermehren, beispielsweise Tollwut-, Rota-, Pneumo- oder Hepatitis A Viren (Provost und Hillemann, Proc. Soc. Exp. Bio. Med., 160: 213–221 (1979); und Rolle und Mayr a.a.O.).

[0013] Schließlich sind im Stand der Technik zahlreiche Verfahren bekannt, mittels derer Viren, virale Expressionsprodukte oder andere Proteine nach der Vermehrung aus dem Medium und/oder den Zellen isoliert werden können (Gregersen a.a.O; Mahy a.a.O.; Reimer C., et al., Journal of Virology, Dec. 1967, p. 1207–1216; Navarro del Canizo, A., et al., Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol. 61, 1996, 399; Prior, C., et al., BioPharm, Oct. 1996, 22; Janson, Jan-C. and Rydén, L. [Hersg.], Protein Purification, 1997; und Deutscher M. [Hersg.], Methods in Enzymology, Vol. 182, 1990).

[0014] DE 196 12 966 offenbart ein Verfahren zur Vermehrung von Influenzaviren in MDCK-Zellen, die an ein Wachstum in Suspension angepasst sind.

[0015] Es sind jedoch im Stand der Technik keine Verfahren bekannt, mit denen eine Vielzahl verschiedener Viren in einem einfach zu handhabenden Suspensionskultursystem unter Bedingungen, wie sie für ein pharmazeutisches Produkt erforderlich sind, und im technischen Maßstab bei hoher Ausbeute vermehrt werden können. Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist somit die Bereitstellung von Verfahren und Zellkultursystemen zur Vermehrung von Viren, die für die pharmazeutische und diagnostische Verwendung geeignet sind, in großtechnischem Maßstab.

[0016] Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur großtechnischen Herstellung von Impfstoffen, bei dem man:

- (a) eine MDCK-Suspensionskultur in einem Serum-freien, Protein-freien oder chemisch definierten Medium vermehrt, wobei
 - (i) die Vermehrung in einem Fed-Batch-System erfolgt,
 - (ii) das Kulturvolumen durch Zugabe von frischem Medium vergrößert wird, und
 - (iii) ein Produktionsvolumen von mehr als 100 l erreicht wird,
- (b) die MDCK-Suspensionskultur mit einem Virus infiziert,
- (c) die Viren in der MDCK-Suspensionskultur vermehrt, und
- (d) die Viren oder ein von diesen erzeugtes Protein aus der Zellkultur isoliert.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden die Viren mit β -Propiolacton inaktiviert.

[0018] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Vermehrung der Zellen vor der Infektion in einem chemisch definierten Medium und die Infektion in einem proteinfreien Medium.

[0019] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform stammen die MDCK-Zellen von der Zelllinie MDCK-33016 ab.

[0020] In einer noch weiteren bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Virus um einen dsDNS, RNS(+), RNS(–) oder dsRNS Virus, z. B. um ein Virus, das ausgewählt ist aus Adenoviren, Ortho- oder Paramyxoviren, Reoviren, Picornaviren, Enteroviren, Flaviviren, Herpesviren oder Poxviren. Es wird besonders bevorzugt, dass das Virus ein Adenovirus, ein Hepatitis A-Virus, ein Japanisches Enzephalitis-Virus, ein Virus der europäischen Frühsommer-Meningoenzephalitis, ein respiratorisches Syncytialvirus, ein Vaccinia-virus, ein Influenzavirus, ein Rotavirus, ein Rhabdovirus, ein Reovirus, ein Herpes-Simplex-Virus 1, ein canines Adenovirus, ein porcines Herpesvirus oder ein Pseudorabiesvirus ist.

[0021] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform vermischt man den Impfstoff mit einem Adjuvant, Hilfsstoff, Puffer, Verdünnungsmittel oder Arzneimittelträger.

[0022] Weiterhin bevorzugt ist es, dass das erfindungsgemäße Verfahren ferner einen Schritt (d) umfasst, bei dem die Viren mittels einer CS-Chromatographiesäule und/oder mit einer Ultrazentrifugation in einem Saccharosegradienten gereinigt werden.

[0023] Es wurde nunmehr überraschenderweise festgestellt, dass bestimmte MDCK-Zelllinien, welche die Fähigkeit aufweisen, in Suspension zu wachsen, für die Vermehrung einer Vielzahl verschiedener Viren unter technischen Bedingungen besonders geeignet sind. In diesen Zellen können verschiedenste Virusarten ohne eine üblicherweise langwierige (Wochen- oder Monate-lange) Adaptationsphase schnell repliziert werden. Das erfindungsgemäße Verfahren kann ohne Auswahl besonderer Kulturbedingungen, wie Medien, Mediumzusätze oder Temperaturen, durchgeführt werden. Die Zellen sind problemlos für die Replikation verschiedenster, auch notorisch schwer zu vermehrender Viren, wie beispielsweise Tollwut-, Rota-, oder Hepatitis A Viren, geeignet.

[0024] Die Erfindung eröffnet damit neue und gleichzeitig verbesserte Möglichkeiten, Viren in Zellkultur im industriellen Maßstab herzustellen. Die dabei erhaltenen Produkte eignen sich besonders für den Einsatz bei der Herstellung von Impfstoffen. Es konnte überraschenderweise gezeigt werden, dass das erfindungsgemäße Verfahren nahezu unverändert für verschiedene Virusarten Anwendung finden kann, ohne spezifisch an diese angepasst zu werden. Das hat den Vorteil, dass sich unterschiedliche Produkte (Viren) in derselben Anlage bzw. in mehreren Anlagen derselben Ausrichtung und Spezifikation vermehren lassen. Durch dieses Vorgehen lassen sich beträchtliche Kosteneinsparungen realisieren, da derselbe Basisprozess für verschiedene Produkte eine aufwendige Validierung eines neuen Prozesses oder einer neuen Prozessvariante entbehrlich macht. Gleichzeitig liefert das erfindungsgemäße Verfahren Ausbeuten, welche die der bislang bekannten, aufwendig optimierten Systemen übertreffen. Aus den genannten Vorteilen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergibt sich außerdem eine vereinfachte behördliche Zulassung der aus dem Verfahren resultierenden Produkte, da ein großer Teil eines für ein Produkt erarbeiteten und akzeptierten Zulassungsdossiers für weitere Produkte und deren Zulassung verwendet werden können.

[0025] Die Vermehrung der Viren erfolgt in einer Suspensionskultur mit einem Volumen von mehr als 30 l, wobei Verfahren, die ein Volumen von mehr als 50 l und mehr als 100 l nutzen, bevorzugt sind. Das erfindungsgemäße Verfahren weist im Hinblick auf das Volumen lediglich insofern eine Obergrenze auf, als die absolute Größe der verfügbaren Kulturgefäße begrenzt ist. Im Stand der Technik sind Anlagen, beispielsweise Edelstahlfermenter, mit einer Größe von bis zu 5.000 und 10.000 l bekannt. Entsprechende Anlagen können für das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt werden.

[0026] Bei den Zellen, die in den erfindungsgemäßen Verfahren zur Anwendung gelangen, handelt es sich um MDCK-Zellen, welche die Eigenschaft haben, in Suspensionskultur zu wachsen. Damit werden Zelllinien bezeichnet, die auch in Abwesenheit von Trägerteilchen im Fermenter im technischen Maßstab wachsen können, was gegenüber anderen Zellen erhebliche Vorteile bei der Handhabung der Kulturen, beim Vergrößern des Maßstabs der Kulturen und bei der Vermehrung von Viren aufweist. Verfahren zur Adaptation von MDCK-Zellen an die Suspensionskultur sind im Stand der Technik bekannt (WO 97/37000). Die MDCK-Zellen können beispielsweise von der Zelllinie MDCK-33016 abstammen.

[0027] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden MDCK-Zellen verwendet, die in der Lage sind, sowohl adhären als auch in Suspension zu wachsen. Diese Ausführungsform weist den besonderen Vorteil auf, dass ein Zellkultursystem und somit auch ein Medium für die Entwicklung der Zellen vom Labor-Maßstab bis zur groß-technischen Produktion verwendet werden kann. Entsprechende Systeme vereinfachen die Arzneimittelzulassung erheblich, da nur die Sicherheit eines einzelnen Zellkultursystems geprüft werden muß.

[0028] Das Virus kann ein Genom aus doppelsträngiger Desoxyribonukleinsäure (dsDNA), doppelsträngiger Ribonukleinsäure (dsRNA) oder einzelsträngiger Ribonukleinsäure aufweisen. Die einzelsträngigen Ribonukleinsäure-Moleküle können dabei die Polarität einer Boten-RNA ("messenger-RNA") aufweisen, RNA(+), oder entgegengesetzter Polarität sein, RNA(-).

[0029] Bei dem Virus kann es sich um ein beliebiges im Stand der Technik bekanntes Virus handeln. Die Viren, die im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens Anwendung finden, können über verschiedenen Sammlungen, wie z. B der ATCC (American Type Culture Collection) oder der ECACC (European Collection of Animal Cell Cultures) bezogen werden. In der Regel wird dabei auf existierende Produktionsstämme oder bereits in Zellkultur vorvermehrte Virusstämme zurückgegriffen. Es können ferner eigene Isolate etabliert werden, sofern diese sich für die jeweilige Applikation besser eignen. Gemäß einer Ausführungsform ist das Virus, welches in das Verfahren eingesetzt wird, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus: Adenoviren, Ortho- und Paramyxoviren, Reoviren, Picornaviren, Enteroviren, Flaviviren, Herpesviren und Poxviren. Besonders bevorzugt handelt es sich um einen Adenovirus, Hepatitis A-Virus, Japanisches Enzephalitis-Virus, Viren der europäischen Frühsommer-Meningoenzephalitis respiratorisches Syncytialvirus, Vacciniavirus, Influenzavirus, Rotavirus, Rhabdovirus, Reovirus, Herpes Simplex Virus 1, caninen Adenovirus, sowie porcine Herpesviren oder Pseudorabiesvirus zur Infektion der Zellen verwendet wird, wobei die Verwendung eines Tollwutvirus, Rotavirus oder Hepatitis A Virus besonders bevorzugt ist.

[0030] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann das Genom des Virus eine Nukleinsäuresequenz umfassen, die für ein heterologes, funktionales Protein mit einer Größe von mindestens 10 kDa kodiert. Im Stand der Technik sind zahlreiche Vektoren für die Expression von heterologen Proteinen bekannt, die auf einem viralen Genom, beispielsweise auf einem Herpes-, Vaccinia- oder Adenovirus-Genom, basieren (Galler R. et al., Braz.J.Med.Biol. Res., 1997 Feb., 30(2): 157–68; Willemse MJ. et al., Vaccine 1996 Nov., 14(16): 1511–6; Efstatithou S.; Minson AC., Br.Med.Bull., 1995 Jan. 51(1): 45–55; Hammerschmidt W., Curr.Opin.Mol.Ther., 2000 Oct., 2(5): 532–9; Graham FI.; Prevec, L., Mol.Biotechnol., 1995, Jun; 3(3): 207–20; Carroll MW., Moss B.; Curr.Opin.Biotechnol., 1997 Oct.; 8(5): 573–7; Wojcik J., Acta.Microbiol.Pol., 1995, 44(2): 191–6; Ramirez JC. et al., J. Virol., 2000 Aug.; 74(16): 7651–5; Hagen, Anna, et al., Biotechnol.Prog., 1996, 12, 406–408; Huyghe, Bernard, et al., Human Gene Therapy, 1995 Nov., 6: 1403–1416).

[0031] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung sind auch Verfahren zur Vermehrung solcher Viren umfasst, bei denen das virale Genom durch Addition oder Substitution von Sequenzen so verändert wurde, dass das Genom für ein heterologes, also ursprünglich nicht zu dem Virus gehörendes, funktionales Protein mit einer Größe von mindestens 10 kDa kodiert. Erfindungsgemäß wird dabei ein Protein als ein funktionales Protein bezeichnet, wenn das Protein mindestens in der Lage ist, eine Immunreaktion gegen dieses Protein auszulösen. Selbstverständlich kann das Protein neben der immunologischen Aktivität weitere biologische Aktivitäten aufweisen, beispielsweise als Enzym oder Zytokin wirken.

[0032] Die Viren, die in den erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt werden, können ferner Deletionen einzelner Gene im viralen Genom aufweisen. So können beispielsweise Gene eines Virus, das als Impfstoff verwendet werden soll, welche für Pathogenitätsfaktoren kodieren, gezielt deletiert werden. Entsprechende Deletionen umfassen vorzugsweise nicht mehr als 500 oder 1000 Nukleotide.

[0033] Selbstverständlich kann das für die erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzte Virus auch ein vollständiges virales Genom umfassen.

[0034] Die Vermehrung der Viren in der Suspensionskultur kann gemäß den erfindungsgemäßen Verfahren in Gegenwart oder Abwesenheit von Serum im Medium erfolgen. Besondere Vorteile ergeben sich durch die Abwesenheit von Serum, da diese Zellkulturbedingungen die Zulassung der medizinischen Verwendung so erzeugter Produkte wesentlich vereinfacht. Durch Verzicht auf Serum-Zusätze zum Kulturmedium werden ferner aufwendige Reinigungsschritte zur Entfernung der Mediumkontaminationen vermieden. Dadurch lassen sich somit auch Verbesserungen hinsichtlich der Qualität des Produktes erreichen und auch Kosten vermeiden.

[0035] Als "Serum-freies Medium" wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Medium bezeichnet, das keine Zusätze von Serum menschlicher oder tierischer Art aufweist.

[0036] Entsprechende Kulturen können definierte Mengen bestimmter Proteine zugesetzt werden, die sich nicht störend auf die Kultur und anschließende Verwendung auswirken. Eine solches Kulturmedium wird als chemisch definiertes Medium bezeichnet. Diesem Medium werden ausgewählte Proteine, wie mitogene Peptide, Insulin, Transferrin oder Lipoproteine zugesetzt werden, die bei verschiedenen, dem Fachmann bekannten Herstellern bezogen werden können. Unter mitogenen Peptiden werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorzugsweise pflanzliche Hydrolysate, z. B. Sojabohnen-Proteinhydrolysat oder Lysate aus Proteinen anderer Nutzpflanzen verstanden.

[0037] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Medien jedoch vollständig "Protein-frei". Unter "Protein-frei" werden Kulturen verstanden, bei denen die Vermehrung der Zellen unter Ausschluss von Proteinen, Wachstumsfaktoren, sonstigen Proteinzusätzen und nicht-Serum-Proteinen erfolgt. Selbstverständlich enthalten die in solchen Kulturen wachsenden Zellen selbst Proteine.

[0038] Bekannte Serum-freie Medien sind beispielsweise Iscove's Medium, Ultra-CHO-Medium (BioWhittaker) oder EX-CELL (JHR Bioscience). Übliche, Serum-haltige Medien sind beispielsweise Eagle Basalmedium (BME) oder in Minimum Essential Medium (MEM) (Eagle, Science 130, 432, (1959)) oder Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM oder EDM), die üblicherweise mit bis zu 10% fötalem Kälberserum oder ähnlichen Zusätzen eingesetzt werden. Auch Protein-freie Medien, wie beispielsweise PF-CHO (JHR-Bioscience), chemisch definierte Medien, wie ProCHO 4CDM (Bio Whittaker) oder SMIF 7 (Gibco/BRL-Life Technologies), und mitogene Peptide, wie beispielsweise Primactone, Pepticase oder HyPep™ (alle von Quest International) oder Lactalbumin-Hydrolysat (Gibco u. a Hersteller), sind im Stand der Technik hinreichend bekannt. Insbesondere die auf pflanzlichen Hydrolysaten basierenden Medien-Zusätze weisen den besonderen Vorteil auf, dass eine Kontamination mit Viren, Mykoplasmen oder unbekannten infektiösen Agentien ausgeschlossen werden kann.

[0039] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird während der Kultur der infizierten MDCK-Zellen frisches Medium, Medium-Konzentrat oder Medienbestandteile wie beispielsweise Aminosäuren, Vitamine, Lipidfraktionen oder Phosphate zugesetzt.

[0040] Als "Perfusionssysteme" werden Kultursysteme bezeichnet, bei denen kontinuierlich Medium zu- und abgeführt wird. Alternativ dazu können die Zellen auch in einem "Batch-System" kultiviert werden, bei dem das System als weitgehend geschlossenes System ohne Zufuhr von Medium von der Inokulation bis zur Ernte gefahren wird.

[0041] Die für die gewünschte Anwendung zu verwendenden Zellkulturbedingungen (Temperatur, Zelldichte, pH-Wert, etc.) sind aufgrund der Eignung der erfundungsgemäß verwendeten Zelllinie über einen sehr weiten Bereich variierbar und können den Bedürfnissen der Anwendung angepaßt werden. Die folgenden Angaben stellen daher lediglich Richtwerte dar.

[0042] Die Vermehrung der MDCK-Zellen vor der Infektion erfolgt in einem Fed-Batch-System.

[0043] Als "Fed-Batch-System" wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Kultur-System bezeichnet, bei dem die Zellen zunächst in einem Batch-System angezogen werden, und das Erschöpfen der Nährstoffe (oder eines Teils der Nährstoffe) im Medium durch eine geregelte Zufütterung konzentrierter Nährstoffe kompensiert wird. In einem Fed-Batch-System können die MDCK-Zellen beispielsweise bis zu einer Zelldichte von etwa $1-10 \times 10^6$ vermehrt werden.

[0044] Es hat sich weiterhin als vorteilhaft erwiesen, den pH-Wert des Mediums bei der Vermehrung der MDCK-Zellen vor der Infektion auf einen Wert zwischen pH 6,6 und pH 7,8, und besonders bevorzugt auf einen Wert zwischen pH 7,2 und pH 7,3 einzustellen.

[0045] Die Kultur der MDCK-Zellen vor der Infektion erfolgt bevorzugt bei einer Temperatur zwischen 30° und 40°C, und besonders bevorzugt bei einer Temperatur zwischen 33° und 37°C. Der Sauerstoff-Partialdruck wird bei der Kultur vor der Infektion bevorzugt auf einen Wert zwischen 25% und 95%, und besonders bevorzugt auf einen Wert zwischen 35% und 60% eingestellt. Die im Rahmen der Erfindung angegebenen Werte des Sauerstoff-Partialdrucks basieren auf der Sättigung der Luft.

[0046] Für das erfindungsgemäße Verfahren hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dass die Infektion der MDCK-Zellen bei einer Zelldichte von vorzugsweise etwa $8-25 \times 10^5$ Zellen/ml im Batch-System bzw. vorzugsweise etwa $5-20 \times 10^6$ Zellen/ml im Perfusionssystem erfolgt. Die Zellen können in den erfindungsgemäßen Verfahren mit einer viralen Dosis (m.o.i. Wert, "multiplicity of infection"; entspricht der Anzahl an Viruseinheiten pro Zelle zum Zeitpunkt der Infektion) zwischen 10^{-8} und 10, bevorzugt zwischen 0,0001 und 0,5, infiziert werden.

[0047] Die Kultur der MDCK-Zellen nach der Infektion kann im Perfusions-, Batch oder Fed-Batch-System erfolgen. Dabei können dieselben Kulturbedingungen wie zuvor eingesetzt werden (Temperatur zwischen 30° und 40°C, Sauerstoff-Partialdruck zwischen 5% und 100%, pH-Wert des Mediums zwischen pH 6,6 und pH 7,8).

[0048] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird während der Kultur der infizierten MDCK-Zellen das Kulturmedium gegen frisches Kulturmedium ausgetauscht oder das Kulturvolumen durch Zugabe von frischem Kulturmedium vergrößert. Der Austausch bzw. die Ergänzung des Kulturmediums kann auch durch Mediumkonzentrat oder Mediumbestandteile wie beispielsweise Aminosäuren, Vitamine, Lipid-Faktion, Phosphate, o. ä. Substanzen erfolgen. Diese Schritte können während der Kultur der MDCK-Zellen auch mehrfach durchgeführt werden.

[0049] Überraschenderweise wird das Wachstum der MDCK-Zellen durch die Vermehrung bei vielen Virusystemen nicht signifikant inhibiert. Insbesondere bei Vermehrung von Hepatitis A, Rhabdo- und Flaviviren (FSME), wurde ein starkes Wachstum der MDCK-Zellen und der Viren während der Kultur beobachtet.

[0050] Dies ermöglicht die Steigerung der Virusausbeute durch mehrfache Virusernten aus Kulturüberständen, sowie besonders durch Vergrößerung des gesamten Kulturvolumens und dabei auch der Zellzahl durch Zusatz frischen Mediums. Entsprechende Mehrfachernten stellen einen signifikanten Vorteil der erfindungsgemäßen Verfahren dar, da die Ausbeute des Systems wesentlich verbessert wird.

[0051] Die erfindungsgemäßen Verfahren ermöglichen daher erstmals die Vermehrung der Viren und Zellen in einem Kultursystem über einen längeren Zeitraum. So konnte in einigen Beispielen gezeigt werden, dass die Zellen auch 28 Tage nach der Infektion noch lebensfähig waren. Die Zeitdauer der Virus- und Zellvermehrung ist daher über einen breiten Bereich durch die Bedingungen der Zellkultur (Zugabe von Medium) wählbar.

[0052] Erfindungsgemäß werden ferner Verfahren zur Verfügung gestellt, die eine Ernte und Isolierung der Viren oder der von diesen erzeugten Proteine umfassen. Bei der Isolierung der Viren oder der Proteine werden die Zellen durch Standardmethoden, wie beispielsweise durch Separation, Filtration oder Ultrafiltration, vom Kulturmedium abgetrennt. Im folgenden werden die Viren oder die Proteine nach dem Fachmann hinreichend bekannten Verfahren, wie z. B. Gradienten-Zentrifugation, Filtration, Fällung, Chromatographie, u. ä., aufkonzentriert und anschließend gereinigt. Erfindungsgemäß ist es ferner bevorzugt, dass die Viren während oder nach der Reinigung inaktiviert werden. Eine Virusinaktivierung kann beispielsweise durch β -Propiolacton oder Formaldehyd an beliebiger Stelle innerhalb des Reinigungsprozesses erfolgen.

[0053] Die erfindungsgemäßen Verfahren eignen sich somit in besonderer Weise zur Herstellung von Impfstoffen.

[0054] Die Herstellung des Impfstoffs kann dabei die Vermehrung und Isolierung eines Virus oder von diesem erzeugten Proteins und die Vermischung mit einem geeigneten Adjuvant, Hilfsstoff, Puffer, Verdünnungsmittels und/oder Arzneimittelträger umfassen. Unter Adjuvanzien werden in Rahmen der vorliegenden Erfindung Substanzen verstanden, die die Immunantwort erhöhen. Dazu zählen beispielsweise Hydroxide verschiedener Metalle, wie Aluminiumhydroxid, Bestandteile der bakteriellen Zellwand, Öle oder Saponine. Die Impfstoffe eignen sich insbesondere zur prophylaktischen oder therapeutischen Behandlungen viraler Infektionen.

[0055] Die Immunogenität und/oder Wirksamkeit der entsprechenden Impfstoffe kann durch dem Fachmann bekannte Methoden, wie z. B. Schutzversuche mit Belastungsinfektion oder Bestimmung des zur Neutralisation notwendigen Antikörper-Titers festgestellt werden. Die Bestimmung der Virus-Menge bzw. der Menge an produzierten Antikörpern kann beispielsweise durch Bestimmung des Titers oder der Menge an Antigen gemäß dem Fachmann hinreichend bekannten Standardverfahren, wie z. B. Virustitration, Hämaggglutinations-Test, Antigenbestimmung oder Proteinbestimmung verschiedenster Art, erfolgen.

[0056] In den folgenden Beispielen wurden alle Virustiter nach dem Fachmann bekannten Endverdünnungsmethode und statistischer 50%-Endpunktbestimmung nach Spearman-Kaerber bestimmt (vgl. Horzinek,

Kompendium der allgemeinen Virologie, 2. Auflage, 1985, Parey Verlag, Seiten 22–33). Es wurden jeweils 8 Testkulturen in Mikrotiterplatten mit 100 µl-Mengen einer Virusverdünnung infiziert, wobei Verdünnungen des Virusmaterials von 10^{-1} bis 10^{-8} benutzt wurden. Die Auswertung der Virustitrationen erfolgte entweder mikroskopisch anhand des cytopathischen Effektes der Testkulturen oder mit Hilfe von immunologischen Nachweismethoden unter Verwendung virusspezifischer Antikörper. Die Bindung der virusspezifischen Antikörper wurde als Immunfluoreszenz mit Floureszin-markierten Antikörpern oder unter Verwendung von Biotin-markierten Sekundär-Antikörpern und einem Streptavidin-/Biotin/Peroxidase-Verstärkerkomplex sowie einem präzipitierbaren Farbstoff (Gregersen et al., Med. Microbiol. Immunol., 177: 91–100) sichtbar gemacht. Die Einheit der Virustiter lautet Kulturinfektiöse Dosis 50% (KID₅₀). Die jeweils für die verschiedenen Virusarten verwendeten virusspezifischen Nachweiszellen und – soweit zutreffend – immunologischen Nachweisverfahren sind in den virusspezifischen Beispielen genannt.

Beispiele

Beispiel 1: Handhabung des Zellkultursystems als Suspensionskultur in frühen Arbeitsstufen und im Labormaßstab

[0057] MDCK-Zellen aus Saatzellampullen, die in flüssigem Stickstoff gelagert werden, wurden durch Eintauchen in ein Wasserbad schnell aufgetaut und sofort in Kulturmedium (Ultra CHO mit Supplement, BioWhittaker, "Standardmedium") auf eine Zellzahl von etwa 1×10^5 Zellen/ml in der Regel etwa 1:100 – verdünnt. Danach wurden die Zellen durch Zentrifugation (10 Minuten bei $800 \times g$) von dem Medium getrennt, erneut in frischem Medium aufgenommen und in Spinnerkulturflaschen (100 ml Arbeitsvolumen, Bellco oder Techne) gefüllt. Diese Kulturansätze wurden bei 37°C auf einem Magnetrührer mit 50–60 Umdrehungen/Minute inkubiert. Das Zellwachstum wurde durch Kontrolle der Zellzahl überwacht. Bei Erreichen von Zellzahlen von 8×10^5 bis maximal $1,6 \times 10^6$ Zellen/ml, wurden die Kulturen durch Verdünnung der Zellen in frischem Standardmedium und Aussaat in neue Spinnerkulturflaschen von 100 bis 1000 ml Arbeitsvolumen umgesetzt und bis zur Erreichung maximaler oder gewünschter Zelldichten unter Röhren wie oben beschrieben inkubiert. Bei diesen Zellpassagen wurden die Verdünnung der jeweiligen Kultur im Bereich zwischen 1:4 und 1:10 in der Art an das Zellwachstum angepasst, dass die maximale Zellzahl je nach Bedarf innerhalb von 3 bis 5 Tagen erreicht wurde. Alternativ wurde dieselbe Art der Zellkultivierung ohne Zusatz der Supplamente zum Medium erprobt und konnte über mindestens 10 Passagen problemlos beibehalten werden.

Beispiel 2: Handhabung des Zellkultursystems als adhärente Kultur

[0058] Etablierte Suspensionskulturen (vgl. Beispiel 1) wurden in verschiedenen Medien verdünnt, so dass die Zellzahl etwa 1×10^5 Zellen/ml betrug, und anschließend in verschiedenste Zellkulturgefäße (siehe Tabelle 1) gefüllt. Das Zellkulturvolumen entsprach dabei den für die jeweiligen Kulturgefäße üblichen Mengen, d. h. etwa 4 mm Kulturmedium über der Aussaatfläche bzw. etwa 1 ml Medium pro $2,5 \text{ cm}^2$ Kulturfläche. Die Kulturen wurden in der Regel bei der für die meisten Zellkulturen üblichen Temperatur von 37°C inkubiert, jedoch waren auch erhebliche Abweichungen der Inkubationstemperatur ohne nennenswerten Verlust möglich (siehe Tabelle 1). Die erprobten Kultursysteme sowie die damit erzielten Ergebnisse des Zellwachstums sind in Tabelle 1 dargestellt und zeigen, dass sich dieses Zellsystem in verschiedenen Medien und Kultursystemen annähernd gleich und robust verhält.

[0059] Derartig hergestellte Monolayer-Kulturen wurden für die Titration von Virusernten in Mikrotiterplatten sowie zur Anzucht von Viren unter mikroskopischer Kontrolle oder für Immunfluoreszenz-Untersuchungen, Hämadsorptionstests und andere virologische oder immunologische Standardmethoden verwendet, die sich besser in adhärenten Einschicht-Kulturen als in Suspensionskulturen durchführen lassen. Des Weiteren waren solche Kulturen besonders geeignet, reine Virusstämme durch Plaquereinigung oder Ausverdünnung zu gewinnen. Schließlich wurden die adhärenten Kulturen auch zur Virusvermehrung in kleinen und großen Maßstäben verwendet; größere Mengen dabei vorzugsweise in Rollerflaschen.

Zellkultur System	Zellaussat ($\times 10^5$ Zellen/ml)	Verwendete Medien	Verwendete Zusätze	Inkubation #	konfluente Kultur nach .. Tagen (8–20 $\times 10^5$ Zellen/ml)
Plastik-Kulturflaschen	0,8–1,0	MEM, EDM, Opti-MEM*, Ultra CHO*,	1–5% FCS oder Supp.*	33 oder 37°C	4–5

Plastik-Kulturflaschen	2,0	MEM, EDM, Opti-MEM*, Ultra CHO*,	1–5% FCS oder Supp.*	33 oder 37°C	2–3
Mikrotiterplatten	2,0–4,0	MEM, EDM, Opti-MEM*, Ultra CHO*,	0,5–3% FCS oder Supp.*	33 oder 37°C	1–2
Mikrotiterplatten	2,0–4,0	MEM, EDM, Opti-MEM*, Ultra CHO*,	1 % FCS für 1 Tag, dann ohne Zusätze	37°C	1
Rollerflaschen	1,0	EDM, Opti-MEM*, Ultra CHO*,	0,5–3% FCS oder Supp.*	33 oder 37°C	4–5
Rollerflaschen	1,0	EDM, Opti-MEM*, Ultra CHO*,	1% FCS oder Supp.* für 3 Tage, danach ohne Zusätze	33 oder 37°C	5–7
Spinner + Microcarrier	2,0	BME MEM EDM	0,5–3% FCS oder Supp.*	33 oder 37°C	5–7

Tabelle 1: Zellwachstum in verschiedenen, adhärenten Kultursystemen

- BME: Basal Medium Eagle; Bicarbonat-Ergänzung (2–2,5% einer 5% Stammlösung)
 MEM: Minimum Essential Medium; Bicarbonat-Ergänzung (2–2,5% einer 5% Stammlösung)
 EDM: Dulbecco's Modified Eagle Medium; Bicarbonat-Ergänzung (2–2,5% einer 5% Stammlösung)
 FCS: Fötales Kälberserum
 Supp.: Ultra CHO supplement
 #): eingestellte Werte; tatsächlich gemessene Werte mit Abweichungen um +2°C und –3°C
 *): Hersteller: Bio-Whittaker

Beispiel 3: Virusisolierung, Gewinnung und Herstellung von Saatviruspräparationen

[0060] Primärisolate, wie beispielsweise virushaltige Organ-, Gewebe-, oder Gewebsflüssigkeitsproben, Rachenabstriche oder Stuhlproben wurden im Eisbad in Standardmedium (beliebige andere Medien oder Phosphatpuffer sind ebenso möglich) mit Antibiotikazusatz (PSN: 100 Einheiten/ml Penicillin, 100 µg/ml Streptomycin, 50 µg/ml Neomycin) aufgeschwemmt und gegebenenfalls homogenisiert (mit Mörsern, Skalpellklingen oder einem sogenannten "Douncer" oder "Potter" Homogenizer fein zerkleinert). Die erhaltene Suspension wurden mit Hilfe einem laborüblichen Spritzenvorsatzfilter mit einer Porengröße von 0,45 µm filtriert (zur Isolation kleinerer, unbehüllter Viren auch 0,2 µm). Das Filtrat wurde in kleine Kulturflaschen (25 cm², siehe Beispiel 2) mit frischem Kulturmedium und Antibiotikazusatz inkuliert. Um die Ausbeute zu erhöhen, wurden mehrere Kulturen mit einem Inokulum von beispielsweise 100 µl bis 1 ml versehen und anschließend bei 37°C inkubiert. Für Virusolate aus den oberen Atemwegen empfiehlt es sich, zusätzlich Kulturen bei einer niedrigeren Inkubationstemperatur von 33°C angesetzt.

[0061] Bereits in Kultur vermehrte, reine Virusolate wurden zur Infektion direkt in dem erfindungsgemäßen Kultursystem gemäß Beispiel 1 oder 2 eingesetzt. Da hierbei jedoch in der Regel ein hoher Virusgehalt der Viruspräparation vorausgesetzt werden konnte, wurden kleinere Inokulummengen von 100 µl oder weniger verwendet. Für derartige Erstinfektionen in dem erfindungsgemäßen Kultursystem wurde eine MOI (multiplicity of infection) von 0,1 und 0,01 bevorzugt; bei unbefriedigendem Ergebnis wurde die Infektion mit MOIs in absteigenden 10er Stufen von 10 bis 0,0001 wiederholt.

[0062] Die infizierten Kulturen wurden anschließend täglich mikroskopisch auf virusbedingte Zellschädigungen (CPE, cytopathischer Effekt) untersucht und mit im Kontrollkulturen verglichen. Alternativ sowie bei Viren, die keinen CPE verursachen, wurde die Kultur auf die Anwesenheit bestimmter Virusantigenen oder deren Gene untersucht (z. B. je nach Virusart spezifische HA-Tests; ELISA, PCR). Nach 3 bis 4 Tagen bzw. positivem Befund (Schrumpfung der Zellen, Zelltod, Abrundung und Auflösung des Zellrasens bei adhärenten Kulturen, Plaquebildung) wurden zellfrei zentrifugierte Kulturüberstände als Probe eingefroren, bei negativem oder zweifelhaftem Befund hingegen wurde die gesamte Kultur mit frischem Medium auf eine Zellzahl von 1×10^5

Zellen eingestellt (Verdünnung der Suspensionskulturen bzw. Trypsinbehandlung der adhärenten Kulturen mit anschließender Verdünnung der vereinzelten Zellen) und auf neue Kulturen verteilt weiter inkubiert. Da dies bei den meisten Medien einer Verdünnung der Kulturen von 1:4 bis 1:20 entsprach, wurde zur Vermeidung einer logarithmischen Vermehrung der Zahl der Kulturen spätestens nach der zweiten derartigen Kulturpassage nur ein Teil der möglichen Kulturen weiter unterhalten. Nach 3–4 Passagen konnten in der Regel aus geeignetem, virushaltigem Ausgangsmaterial Virusisolat eingesetzt und nachgewiesen werden.

[0063] Für die meisten Virusarten wurde je nach Virusgehalt und Güte des Ausgangsmaterials nach 2–7 tägiger Inkubation ein virusbedingter CPE festgestellt (siehe auch virusspezifische Beispiele). Einige Virusarten vermehren sich jedoch sehr langsam oder zeigen keinen CPE und müssen daher durch verlängerte Passagen und Inkubationsdauer oder spezifische Tests nachgewiesen werden (die jeweils erforderlichen Methoden sind unter den spezifischen Virusbeispielen aufgeführt). Als Beispiel für ein Virus ohne CPE mit langsamer Vermehrung, welches zudem ein besonderes Nachweissystem erfordert, wird auf das spezielle Beispiel des Hepatitis A-Virus verwiesen. Der dabei beschriebene Nachweistest eignet sich bei Verwendung entsprechender Antiseren ebenfalls zum Nachweis anderer Viren, insbesondere solcher ohne spezifischen CPE.

[0064] Ein neu isoliertes Virus sollte zweckmäßigerweise erst nach dreimaliger Plaquereinigung bzw. Herstellung eines reinen Isolates durch die sogenannte "limited dilution" Technik weiter verwendet werden. Die hierzu erforderlichen Methoden entsprechend dem Stand der Technik sind einschlägigen Lehrbüchern zu entnehmen (siehe z. B. B. W. Mahy: Virology – a practical approach; IRL Press, Oxford, 1985).

[0065] Liegen nun geeignete Viruspräparationen aus einem Primärisolat oder als etablierter Stamm vor, so werden diese anschließend zur Infektion von Spinnerkulturen verwendet, um homogenes Saatvirus für Produktionszwecke zu gewinnen. Ohne den Erfindungsgegenstand darauf zu beschränken, wird empfohlen zunächst eine erste Infektion in kleinen Spinnerkulturen mit 100 ml Kulturmedium vorzunehmen mit MOIs von 10 bis 0,00001, vorzugsweise 0,1 bis 0,0001 zu erproben. Die günstigsten Bedingungen (insbesondere bezüglich MOIs und Erntezeiten) zur Erzielung schneller und hoher Virustiter bzw. Ausbeuten wurden davon ausgewählt, um Saatvirus in einem Kultursystem der erforderlichen Größe – je nach vorgesehenem Produktionsmaßstab und Zahl der Produktionsläufe – in einer weiteren Viruspassage herzustellen. Je nach erzielten Virusausbeuten und vorgesehener Produktionsgröße konnte der Maßstab für diese Saatviruspassage von einigen Spinnerkulturen im bis zu 1000 ml-Maßstab bis hin zu kleineren Fermentern bis hin zu etwa 10 Litern Volumen oder mehr betragen. Das geerntete Virus wurde durch Filtration oder Zentrifugation von eventuellen Zellresten befreit und in produktionsgerechten Kleinpaketen aliquotiert bei Temperaturen möglichst unter –70°C gelagert.

Beispiel 4: Handhabung des Systems als adhärerente Mikrocarrier-Kultur für Produktionszwecke

[0066] Die Anzucht der adhärenen MDCK-Zellen erfolgte in Rollerflaschen gemäß Beispiel 2, Tabelle 1 mit BME plus 3% fötalem Kälberserum (FCS). Nach der Anzucht in diesem System wurden die Zellen von der Oberfläche der Rollflaschen abgelöst. Dies geschah enzymatisch mit Hilfe einer geeigneten Trypsinlösung mit üblichen, dem Fachmann bekannten Verfahren. Alternativ wurden gemäß Beispiel 1 Suspensionszellen in Spinnerkulturen angezüchtet und direkt zur Belegung der Microcarrier verwendet werden.

[0067] Der Produktionsfermenter wurde mit Microcarriern vom Typ Cytodex 3 (Pharmacia) gefüllt. Die Microcarrier (spezifische Einwaage 5 g/l) wurden autoklaviert und mit Nährmedium konditioniert. Das Verfahren gewährleistete ein Anheften der Zellen an die Oberfläche der Microcarrier. Die auf die oben beschriebene Weise gewonnenen Zellen wurden in das Produktionssystem überführt, sodass die Zeldichte 1×10^5 Zellen/ml betrug. Die Zellen hafteten an den Microcarriern und wurden bis zur Konfluenz bzw. bis zum Erreichen einer Zeldichte von 3×10^6 Zellen/ml kultiviert.

[0068] Nach der Zellanzuchtphase wurde das vorhandene Nährmedium gegen frisches Nährmedium ausgetauscht. Dazu wurde proteinfreies Nährmedium eingesetzt. Es wurden 2 Waschzyklen gefahren. Ein Waschzyklus bestand aus dem Abschalten des Rührwerks, dem Absetzen der Microcarrier, der Entnahme des verbrauchten Nährmediums, der Zugabe des frischen Nährmediums und dem Resuspendieren der Microcarrier. Nach dem Waschschnitt wurde die Zellkultur mit Trypsin (2,5 mg/l) versetzt. Anschließend erfolgte die Infektion der Zellkultur mit Saatvirus. Dieses Saatvirus wurde gemäß Beispiel 3 gewonnen und eingesetzt. Die MOI war dabei Virus-spezifisch und betrug zwischen 0,1 und 0,000001 vorzugsweise zwischen 0,01 bis 0,0001. Nach Beendigung der Infektionsphase, deren Dauer einerseits durch das spezifische Virus (siehe spezifische Beispiele), andererseits auch durch die gewählte MOI bestimmt wird, wurde das Rührwerk stillgelegt und die Microcarrier sedimentieren. Der virushaltige Überstand wurde abgezogen und mittels geeigneter Abtrennver-

fahren von Zellresten gereinigt. Zur Zellabtrennung wurden übliche, dem Fachmann bekannte Zentrifugen bzw. Separatoren, Filter und Querstromfiltrationsanlagen eingesetzt.

Beispiel 5: Handhabung des Systems als Suspensionskultur bis zum Produktionsvolumen im 1000 l Maßstab unter Verwendung von serumfreiem Medium

[0069] Die Anzucht von Suspensionskulturen für ein Produktionsvolumen von 1000 l erfolgte mit Hilfe von Spinnerflaschen (Firma Techne) im kleinen Maßstab bis 1000 ml Kulturvolumen (siehe Beispiel 1). Die Zelldichte beim Anlegen der Spinner betrug 1×10^5 Zellen/ml. Die Zellen wurden im Batchverfahren angezogen und bei einer Zelldichte von 1×10^6 Zellen/ml durch einfaches Verdünnen in frischem Medium im Verhältnis 1:10 umgesetzt. Als Medium wurde für die Zellanzucht serumfreies Medium (UltraCHO, Biowhittaker) benutzt. Ab einem Volumen von 10 l wurden gerührte Fermenter (30 Rührerumtdrehungen pro Minute) mit permanenter Belüftung und Kontrolle von Temperatur (Regeltemperatur 37°C für die Zellanzucht), pH-Wert (Regelbereich 7,1 bis 7,3) und Sauerstoffpartialdruck (45 bis 55% pO₂) eingesetzt (technische Details wie in Tabelle 2). Entsprechend einem Umsetzungsverhältnis von 1:10 betrugen die Scale-up Volumina 10 l, 100 l, 1000 l. Die Fermenter erreichten bei einer Anfangszelldichte von 1×10^5 Zellen/ml die Endzelldichte von 1×10^6 Zellen/ml in einer Zeit von 3–4 Tagen. Im Maßstab von 1000 l wurde zusätzlich ein Fed-Batch mit Glucoselösung (100–200 g/l) durchgeführt, um die Zelldichte auf 3×10^6 Zellen/ml zu steigern. Die erzielten Zellausbeuten sind vergleichend in Tabelle 2 dargestellt.

Beispiel 6: Handhabung des Systems als Suspensionskultur bis zum Produktionsvolumen bis zu einem Volumen von 1000 l unter Verwendung von chemisch definiertem Medium.

[0070] Die Anzucht von Suspensionskulturen für ein Produktionsvolumen von 1000 l erfolgte analog wie in Beispiel 5 beschrieben. Als Medium wurde hingegen alternativ chemisch definiertes Medium (ProCHO4CDM) für die Zellanzucht benutzt. Es erwies sich als vorteilhaft, 3 bis 5 Vorpassagen zur Adaptation in diesem Medium durchzuführen. Die erzielten Zellausbeuten sind vergleichend in Tabelle 2 dargestellt.

Beispiel. 7: Handhabung des Systems als Suspensionskultur bis zum Produktionsvolumen im 1000 l Maßstab unter Verwendung von proteinfreiem Medium

[0071] Die Anzucht von Suspensionskulturen für ein Produktionsvolumen von 1000 l erfolgte analog wie in Beispiel 5 beschrieben. Als Medium wurde proteinfreies Medium (SMIF7, LifeTechnologies) für die Zellanzucht benutzt. Es erwies sich als vorteilhaft, 5–10 Vorpassagen zur Adaptation in diesem Medium durchzuführen. Die erzielten Zellausbeuten sind vergleichend in Tabelle 2 dargestellt.

Nr.	Verfahren	Medium	N/T/pO ₂ /pH	X ₀	x
1	Batch	UltraCHO	30 min ⁻¹ 37°C 45–55% 7,1–7,3	1×10^5 ml ⁻¹	1×10^6 ml ⁻¹
2	Fed-Batch	UltraCHO	30 min ⁻¹ 37°C 45–55% 7,1–7,3	1×10^5 ml ⁻¹	$3,1 \times 10^6$ ml ⁻¹
3	Batch	ProCHO4CDM	30 min ⁻¹ 37°C 45–55% 7,1–7,3	1×10^5 ml ⁻¹	1×10^6 ml ⁻¹
4	Fed-Batch	ProCHO4CDM	30 min ⁻¹ 37°C 45–55% 7,1–7,3	1×10^5 ml ⁻¹	$3,3 \times 10^6$ ml ⁻¹
5	Batch	SMIF7	30 min ⁻¹ 37°C 45–55% 7,1–7,3	1×10^5 ml ⁻¹	1×10^6 ml ⁻¹

6	Fed-Batch	SMIF7	30 min ⁻¹ 37°C 45–55% 7,1–7,3	1 × 10 ⁵ ml ⁻¹	3,0 × 10 ⁶ ml ⁻¹
---	-----------	-------	---	--------------------------------------	--

Tabelle 2: Anzucht von Zellen (MDCK 33016) zum Produktionsmaßstab im Fermenter unter Anwendung verschiedener Verfahren und Medien

X_0 : Anfangszelldichte
 X : Endzelldichte
 N/T/pO₂/pH: Rührerumdrrehnungen, Temperatur, Sauerstoff-Partialdruck, pH-Wert

Beispiel 8: Handhabung des Systems in der Produktionsphase mit serumfreiem Medium

[0072] Nach der Anzucht von Suspensionskulturen bis zum Produktionsmaßstab gemäß Beispiel 5 wurden die Zellen auf drei Fermenter gleichen Volumens 3 × 1000 l verteilt und mit frischem Medium aufgefüllt. Damit erhielt jeder Fermenter 1/3 Volumen Vorkultur und 2/3 Volumen Frischmedium. Es wurde das gleiche Medium wie in der Anzuchtphase verwendet (UltraCHO, BioWhittaker). Nach dem Auffüllen wurde die Zellkultur mit Trypsin 10 mg/l versetzt. Anschließend erfolgte die Infektion der Zellkultur mit einem Saatvirus (Influenza B/ Harbin/7/94) bei einer MOI von 0,001 und eine weitere Inkubation unter gleichen Fermentationsbedingungen wie bei der Zellanzucht, jedoch bei 33°C, über 96 Stunden. Der zellhaltige Überstand wurde im folgenden abgezogen, und die Zellen wurden dabei mittels eines Separators abgetrennt. Es erfolgte ein weiterer Filtrationschritt durch Kartuschenfilter mit einer Porengröße von 0,45 µm zur Abtrennung weiterer Feinpartikel.

[0073] Die Virusernten wurden auf ihren Virusgehalt mit Hilfe von Standardmethoden im HA-Test mit 0,5% Hühnererythrozyten und durch Virustitration in adhärenten MDCK-Zellen getestet: Der gemessene HA-Gehalt betrug 1024 Einheiten, der Virustiter lag bei 10^{8,2} KID₅₀/ml.

Beispiel 9: Handhabung des Systems in der Produktionsphase mit chemisch definierten Medien

[0074] Die Vorbereitung der Produktionzellen erfolgte wie in Beispiel 8 beschrieben. Als Frischmedium wurde jedoch chemisch definiertes Medium (ProCHO4CDM, BioWhittaker) verwendet. Nach dem Auffüllen wurde die Zellkultur mit Trypsin 2,5 mg/l versetzt. Die weitere Infektion wurde wie in Beispiel 8 beschrieben durchgeführt. Der gemessene HA-Gehalt betrug 1024 Einheiten, der Virustiter lag bei 10^{7,5} KID₅₀/ml.

Beispiel 10: Handhabung des Systems in der Produktionsphase mit proteinfreiem Medium

[0075] Die Vorbereitung der Produktionszellen erfolgte wie in Beispiel 8 beschrieben. Als Frischmedium wurde jedoch proteinfreies Medium (SMIF7, Life Technologies) verwendet. Nach dem Auffüllen wurde die Zellkultur mit Trypsin 2,5 mg/l versetzt. Die weitere Infektion wurde wie in Beispiel 8 beschrieben durchgeführt. Der gemessene HA-Gehalt betrug 1024 Einheiten, der Virustiter lag bei 10^{7,9} KID₅₀/ml.

Beispiel 11: Anzucht und Infektion mit chemisch definiertem Medium

[0076] Die Anzucht der Zellen erfolgte wie in Beispiel 6 beschrieben, die Infektion wie in Beispiel 9 beschrieben. Somit erfolgte die gesamte Zellkultur von der Anzucht bis zur Ernte der Infektion in chemisch definiertem Medium.

Beispiel 12: Anzucht mit chemisch definiertem Medium und Infektion in proteinfreiem Medium

[0077] Die Anzucht der Zellen erfolgte wie in Beispiel 6 beschrieben in chemisch definiertem Medium, die Infektion wie in Beispiel 10 beschrieben in proteinfreiem Medium.

Beispiel 13: Anzucht und Infektion in proteinfreiem Medium

[0078] Die Anzucht der Zellen erfolgte wie in Beispiel 7 beschrieben. Die Infektion wie in Beispiel 10 beschrieben. Somit erfolgte die gesamte Zellkultur von der Anzucht bis zur Ernte der Infektion in proteinfreiem Medium.

Beispiel 14: Allgemeine Beschreibung der Virusreinigung

[0079] Nach Abschluss der Virusvermehrungsphase wurde die Zellkulturernte durch einen Tiefenfilter mit einer Porengröße von 0,45 oder 0,5 µm filtriert, um Zellen und Zellbruchstücke abzutrennen. Alternativ wurde diese Abtrennung mit Hilfe eines Separators durchgeführt. Die in der geklärten Ernte enthaltenen Viren wurden bei Bedarf mittels Ultrafiltration konzentriert und gereinigt, wobei eine Membran mit einer Ausschlussgrenze zwischen 50.000 und 1.000.000, vorzugsweise 100.000 bis 500.000 verwendet wurde. Das erhaltene Viruskonzentrat wurde auf eine Chromatographiesäule geladen, welche mit CS (Cellufine Sulfate, Millipore) gepackt war. Nachdem Verunreinigungen durch Waschen mit Puffer entfernt wurden, wurden die Viren mit einer 0,3 bis 3 M Kochsalzlösung eluiert. Das Eluat wurde mittels Ultrafiltration entsalzt und weiter konzentriert. Alternativ oder in Kombination mit einer chromatographischen Reinigung kann ein weiter Reinigungseffekt durch Ultrazentrifugation erzielt werden. Die meisten Virusarten können überdies entsprechend ihrer Schwebedichte durch Ultrazentrifugation in einem Saccharosegradienten mit nachfolgender Fraktionierung des Gradienten gereinigt werden. Eine Virusinaktivierung mit Formaldehyd oder β -Propiolacton kann an beliebiger Stelle innerhalb des Reinigungsprozesses eingefügt werden, wird jedoch vorzugsweise nach der Konzentrierung oder nach der Reinigung eingesetzt, da das zu inaktivierende Volumen dann bereits erheblich reduziert ist.

Beispiel 15: Gewinnung von inaktivierten, reinen Viruspräparationen zur Formulierung von Impfstoffen

[0080] Flaviviren (Virus der Frühsommer-Meningoenzephalitis, Stamm K 23) wurden gemäß Beispiel 5, 6 und 7 in verschiedenen Medien bei einer Animpfdosis von 0,2 MOI angezüchtet (für weitere Details vgl. Beispiel 22). Das geerntete, virushaltige Kulturmedium wurde durch Zentrifugation und Filtration über Filter mit einer Porengröße von 0,45 µm von eventuell enthaltenen Zellresten befreit. Aus Sicherheitsgründen wurde dieses Material bereits nach der Filtration durch Zusatz von β -Propiolacton in einer Verdünnung von 1:2000 bzw. 1:2500 und Inkubation bei 2–8°C über 24 Stunden inaktiviert. Ein Zellkulturttest der inaktivierten Präparationen nach 2-stündiger Hydrolyse des Inaktivierungsmittels bei 37°C zeigte, dass bis zu einer Nachweisgrenze von weniger als 0,03 infektiösen Einheiten/ml kein aktives Virus mehr enthalten war.

[0081] Für die Analytik der nachfolgend beschriebenen Reinigungsschritte wurde zur Bestimmung des Gesamtproteingehaltes ein BCA-Assay (Pierce) benutzt. Der spezifische Antigengehalt wurde mit Hilfe eines Sandwich-ELISA unter Verwendung spezifischer monoklonaler Antikörper gegen das E-Glykoprotein (Niedrig et al., 1994, Acta Virologica 38: 141–149) und eines selbst hergestellten, polyklonalen Antiserums gegen gereinigtes Virus aus Kaninchen bestimmt. Die Werte für das inaktiviertes Ausgangsmaterial wurde dabei als Referenzwert (entsprechend 100%) angesetzt.

Reinigung durch Gradientenzentrifugation:

[0082] Inaktivierte Viruspräparationen wurden nach bekannten Methoden über eine Dichtegradienten-Ultrazentrifugation (15–60% Saccharose) bei 80.000 × g gereinigt. Anschließend wurde der Gradient fraktioniert und in Proben der Fraktionen die Extinktion bei 280 nm zur Identifizierung des Viruspeaks bestimmt. Eine starke Erhöhung der Extinktion wurde jeweils im Bereich einer Saccharosekonzentration zwischen 30 und 40% festgestellt, das Maximum lag bei 34 und 35%. In diesem Bereich wurde auch der höchste Gehalt an spezifischem Virusprotein und die höchste Reinheit (bestimmt als Verhältnis von Virusprotein zu Gesamtprotein) gemessen. Insgesamt wurden in diesen Peakfraktionen mehr als 50% des im Ausgangsmaterial festgestellten, spezifischen Antigengehaltes wiedergefunden.

Chromatographische Reinigung:

[0083] Die inaktivierten Viruspräparationen (siehe oben) wurden auf eine CS-Säule aufgetragen, welche zuvor mit 5 Säulenvolumen 50 mM Phosphatpuffer, pH 7,5 äquilibriert wurde. Anschließend wurde mit 10 Säulenvolumen Phosphatpuffer gewaschen, um ungebundenes Material zu entfernen. Gebundenes Material wurde nachfolgend mit demselben Phosphatpuffer unter stufenweiser Zumischung von steigenden Mengen desselben Puffers mit Zusatz von 3 M NaCl eluiert. Im Durchfluss beim Auftragen des Virusmaterials wurden zwischen 3,2 und 3,9% des spezifischen Antigens und 79 bis 83% des Gesamtproteins analytisch wiedergefunden. Im Waschpuffer fand sich 6–11% des Gesamtproteins und 0–2,3% des Antigens. Mehr als 95% des Antigens wurde somit an das Säulenmaterial gebunden. Bei der Elution mit 0,6 bis 1,8 M NaCl wurden etwa 60,0% des Antigens wiedergefunden, die höchste Reinheit wurde bei einer Elution mit 1,2 M NaCl erzielt. Höhere Salzkonzentrationen bis 3 M NaCl eluierten weitere, geringe Mengen (< 15%) an Antigen mit geringerer spezifischer Reinheit.

Reinigung durch Kombination von Chromatographie und Ultrazentrifugation

[0084] Vereinigte Eluate nach 0,6 und 1,2 M NaCl-Elution aus einer chromatographischen Reinigung wie oben beschrieben wurden einer Ultrazentrifugation über 2,5 Stunden bei $80\ 000 \times g$ unterworfen. Das Viruspellet wurde in 50 mM Phosphatpuffer pH 7,5 resuspendiert und analysiert. Die Gesamtproteinkonzentration dieser Präparation war auf 0,7% des Ausgangsgehaltes reduziert, der Reinheitsgrad war durch diesen Schritt um das Zehnfache erhöht worden. Diese Viruspräparation wurde einer Gradientenreinigung wie oben beschrieben unterworfen. Es wurde nach Fraktionierung ein sehr ähnliches Gradientenprofil gefunden, wie dies nach direkter Gradientenreinigung erzielt wurde. Die Spitze des Viruspeaks hatte sich allerdings geringfügig verschoben und lag nun bei 37% Saccharose.

Beispiel 16: Gewinnung eines Virusisolates und Virusvermehrung eines humanen Herpesvirus

[0085] Durch sterile Punktion einer frischen Herpes-Effloreszenz im Blasenstadium (Lippenherpes-Bläschen) mit einer Tuberkulinspritze wurde eine minimale Menge Gewebsflüssigkeit erhalten und gemäß Beispiel 3 in Standardmedium mit Antibiotikazusatz aufgeschwemmt und unter Verwendung eines Filters mit einer Porengröße von 0,45 μm filtriert. Das Filtrat wurde in eine Kulturflasche mit 25 cm^2 Kulturfläche mit adhärenten MDCK 33016 Zellen in Standardmedium inkuliert und bei 37°C inkubiert. Nach 4 Tagen wurden Proben der Überstände und nach 7 Tagen der gesamte Überstand der Kulturen entnommen und bei $< -70^\circ\text{C}$ eingefroren. Eine nach 4 Tagen entnommene Probe wurde 1:10 und weiter in Zehnerstufen in Standardmedium enthaltend 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ Trypsin verdünnt; je 100 μl dieser Verdünnungen wurden auf MDCK 33016 Zellen in Standardmedium gegeben. Nach 13 Tagen Inkubation bei 37°C zeigte sich ein CPE in wenigen Kulturen der ersten Verdünnungsstufe. Die Überstände dieser Kulturen wurden geerntet und erneut absteigend verdünnt in neue Kulturen inkuliert. Nach 6–9 Tagen zeigten sich in mehreren Verdünnungsstufen dieser 3. Viruspassage ein zunehmend deutlicher CPE als Herpesvirus-typische Plaques. Eine parallel mit demselben Ausgangsmaterial direkt infizierte Kultur mit 175 cm^2 Kulturfläche zeigte ebenfalls ausschließlich dieselben, typischen Plaques. Zur weitere Klonierung des Virus wurde dieser Verdünnungsvorgang erneut wiederholt, wobei jeweils Überstände aus Zellkulturen der letzten positiven Verdünnung verwendet wurden. Neben einer Ernte der Kulturüberstände wurden die verbleibenden Zellen mit 3% Formaldehydlösung für 16 Stunden fixiert, danach mit 1% Triton X-100 für 30 Minuten inkubiert und danach nach Standardmethoden mit spezifischen, FITC-markierten, monoklonalen Antikörpern gegen HSV-1 (Biosoft Produktnummer 17-088) einer Immunfluoreszenz-Untersuchung unterworfen. Es zeigte sich, dass nur Zellen in der Umgebung der Plaques eine Immunfluoreszenz aufwiesen. Durch diesen Nachweis, sowie mittels eines spezifischen PCR-Nachweises wurde das Isolat eindeutig als Herpes-Simplex-Virus 1 identifiziert.

[0086] Das klonierte Virus wurde in Standardmedium in Suspensionskulturen weiter vermehrt und bei einem ausreichenden Virustiter ($> 10^6$ infektiöse Einheiten/ml) wie in Beispiel 3 beschrieben, zum Produktions-Saatvirus herangezogen. Die Saatviruspräparationen enthielten regelmäßig Virustiter zwischen 10^7 und 10^8 KID₅₀/ml. Die Bestimmung der Virustiter erfolgte nach dem Fachmann bekannten Standardmethoden in HEP-2 oder Verozellen, kann aber auch in adhärenten MDCK-Zellen erfolgen, wobei die Auswertung der Titrationen anhand der typischen Plaques durchgeführt wird. Die Saatviruspräparationen wurden aliquotiert bei -70°C oder darunter eingefroren und zur Infektion von Produktionszellen eingesetzt. Die Möglichkeit der Verwendung der selben MDCK-Zelle und gleicher Kulturbedingungen bezüglich Medien und Zusätze wie für die spätere Produktion ist dabei von erheblichem Vorteil, da der Dokumentationsaufwand bei der Zulassung des entsprechenden Produktes erheblich verringert wird und die Akzeptanz des Saatvirus verbessert ist.

Beispiel 17: Produktion von humanen Herpesviren

[0087] Zur Infektion der Produktionszellen gemäß den Beispielen 8 bis 13 mit Herpes Simplex Virus 1 (Isolat wie im vorstehenden Beispiel beschrieben), wurde eine MOI von 0,1 oder 0,01 und eine Inkubationszeit von 48 bis 96 Stunden bis zur Ernte gewählt. Es können jedoch durchaus auch niedrigere oder höhere MOIs bei entsprechend längerer bzw. kürzerer Inkubationszeit benutzt werden, wobei die Ausbeuten etwas variieren können, da nicht immer der optimale Erntezeitpunkt getroffen wird. In der Regel wird man jedoch die oben genannten Bedingungen bevorzugen, damit Kulturausbeuten aus wirtschaftlichen Gründen und zur Erleichterung der weiteren Aufarbeitung nicht wesentlich unter 10^8 50% Kultur-infektiösen Einheiten/ml (KID₅₀/ml) liegen. Überdies lässt sich dieses Zeitschema günstig in normale Arbeitsrhythmen einpassen. Allzu niedrige MOIs unter 0,0001 und verlängerte Inkubationszeiten führen fast immer zu geringeren Ausbeuten und sind daher suboptimal.

Beispiel 18: Vermehrung von animalen Herpesviren

[0088] Herpesvirus suis (Pseudorabiesvirus), Stamm "Phylaxia" (Vakzinestamm) wurde zur Infektion einer Produktionskultur im kleinen Maßstab in 100 ml-Spinnerkulturen gemäß Beispiel 1 inkuliert. Die Infektion der Produktionskultur erfolgte bei einer Zellzahl von 1×10^6 Zellen/ml mit einer MOI von 0,01; die Ernte des infektiösen Kulturüberstandes erfolgte nach einer Inkubationszeit von 3 bis 5 Tagen bei 37°C oder bei 33°C. Die zu erwartenden Ausbeuten lagen im Bereich von oder deutlich über 10^8 infektiöse Einheiten/ml. Vergleichbar hohe Titer konnten bei unterschiedlichen Inkubationstemperaturen erzielt werden:

- nach 3 Tagen bei 37°C: $10^{8.7}$ KID₅₀/ml,
- nach 3 Tagen bei 33°C: $10^{8.6}$ KID₅₀/ml,
- nach 5 Tagen bei 37°C: $10^{7.9}$ KID₅₀/ml,
- nach 5 Tagen bei 37°C: $10^{8.3}$ KID₅₀/ml.

[0089] Die Titration der Viren wurde in diesen Fällen in CRFK(Crandall feline kidney)-Zellen durchgeführt und nach 7 Tagen anhand des cytopathischen Effektes abgelesen.

Beispiel 19: Vermehrung von animalen Adenoviren

[0090] Adenovirus (canines Adenovirus 1, CAV-1 Vakzinestamm 269) wurde zur Infektion einer Produktionskultur im kleinen Maßstab in 100 ml-Spinnerkulturen gemäß Beispiel 1 inkuliert. Die Infektion der Produktionskultur erfolgte bei einer Zellzahl von 1 bis $1,5 \times 10^6$ Zellen/ml mit einer MOI von 0,01, die Ernte des infektiösen Kulturüberstandes nach einer Inkubationszeit von 3 oder 5 Tagen bei 37°C oder bei 33°C. Unabhängig von der Inkubationstemperatur (33 oder 37°C) und von der Dauer der Infektionsphase (3 oder 5 Tage) wurden fast identische Titer von $10^{7.5}$ oder $10^{7.6}$ KID₅₀/ml in den Ernten gefunden.

[0091] Die Ausbeutebestimmung anhand der Virustiter erfolgte durch Titration in adhärenten MDCK-33016-Zellen in Mikrotiterplatten (siehe Beispiel 2) und wurde 7 Tage nach Ansatz anhand des CPE ausgewertet. Die infizierten Kulturen der Titration wurden in EME-Medium unter Zusatz von 2% Bicarbonat (aus einer 5% Stammlösung), jedoch ohne Serum- oder Protein Zusatz gehalten. Dieses Titrationssystem erwies sich als empfindliches Nachweissystem, da es selbst in kleinsten, ausverdünnnten Mengen das Adenovirus noch sehr effizient vermehrte (erkennbar an den erzielten Titerwerten).

[0092] Weitere Infektionsansätze belegen die Überlegenheit des Suspensionskultursystems gegenüber einem adhärenten Kulturansatz gleicher Art:

Adhärente MDCK 33016-Kulturen wurden in Falcon-Kulturflaschen (175 cm²) bis zur Konfluenz der Kultur angezüchtet und bei Erreichen derselben mit CAV-1 infiziert. Zur Infektion wurde dieselbe Menge (MOI = 0,01) derselben Viruspräparation eingesetzt, die auch zur Infektion von parallel kultivierten Suspensionskulturen eingesetzt wurde. Beide Kulturen wurden in demselben Medium (Standardmedium) angezüchtet und ab dem Infektionszeitpunkt durch eine Mediumaustausch auf Supplement-freies Medium umgestellt. Beide Kultursysteme wurden bei 37°C inkubiert und die Kulturüberstände 5 Tage nach der Infektion geerntet. Zellfreie Kulturüberstände wurden wie oben beschrieben in MDCK-Zellen titriert. Die Virusausbeute des adhärenten Systems betrug $10^{6.3}$ KID₅₀/ml, die des Suspensionskultursatzes $10^{7.8}$ KID₅₀/ml, also etwa 30-fach mehr.

Beispiel 20: Vermehrung von Paramyxoviren

[0093] In beinahe identischer Weise wie im vorherigen Beispiel für Adenovirus beschrieben, wurde ein Vertreter der Paramyxoviren (ATCC, Stamm VR-288) eingesetzt. Abweichend war ein Erntezeitpunkt bereits nach 3 Tagen, da dieses Virus sehr schnell repliziert, auch die Auswertung der Titration erfolgte früher, nämlich nach 5 Tagen. Kulturen, die nach der Infektion bei 37°C weiter inkubiert wurden, lieferten Ausbeuten von $10^{7.4}$ KID₅₀/ml; die gleichen Titer wurden gemessen, wenn ab dem Infektionszeitpunkt die Inkubationstemperatur auf 33°C reduziert wurde.

[0094] Analog zum Adenovirus erwies sich auch für das Paramyxovirus die MDCK 33016 Zelle als ein sehr geeignetes Titrationssystem mit effizienter Virusreplikation in MEM-Medium ohne Serum- oder Protein Zusatz (der Bicarbonat-Zusatz erfolgte auch hier). Wie im Beispiel für Adenoviren beschrieben, wurde auch hier ein direkter Vergleich zwischen adhärenten und Suspensionskulturen durchgeführt. Die maximale Ausbeute im adhärenten System lag bei $10^{6.6}$ KID₅₀/ml nach 96 Stunden infektionszeit, das Suspensionskultursystem ergab im Vergleich dazu deutlich bessere und schnellere Ausbeuten von $10^{7.3}$ KID₅₀/ml nach 72 Stunden.

[0095] Alternativ wurden adhärente MDCK 33016 Zellen gemäß Beispiel 2 in MEM mit 5% fötalem Kälberserum mit einem anderen Virus der gleichen Familie (PI-3, ATCC VR-93) infiziert. Nach einer Woche Inkubation bei 37°C enthielten die Überstände nach Titration in CV-1 Zellen (ECACC 87032605) mindestens 10^6 KID₅₀/ml und zeigten eine positive Hämagglutination mit Meerschweinchen-Erythrozyten und eine positive Immunfluoreszenz mit spezifischen Antikörpern (anti PI-3 MAK-FITC der Firma Biosoft).

Beispiel 21: Vermehrung von Reoviren

[0096] Suspensionskulturen der MDCK 33016-Zelle in Standardmedium wurden mit Reovirus Typ 3 (erhalten von Firma Bio Doc, Hannover) bei einer MOI von 0,01 infiziert und 3 oder 5 Tage bei 33°C oder 37°C weiter inkubiert. Proben der Kulturüberstände wurden nach 5 und 7 Tagen entnommen und in dem überlieferten System unter Verwendung von BHK-Zellen in MEM-Medium mit 3% fötalem Kälberserum titriert. Die Auswertung der Titrationen erfolgte nach 7 Tagen.

[0097] Die Virusausbeuten der Suspensionskulturen nach 5. Tagen betrugen bei 37°C $10^{8.1}$ KID₅₀/ml, bei 33°C $10^{8.0}$ KID₅₀/ml. Nach 7 Tagen lagen die Titer bei beiden Temperaturansätzen bei $10^{8.0}$ KID₅₀/ml.

Beispiel 22: Vermehrung von Flaviviren

[0098] Suspensionskulturen der MDCK 33016-Zelle mit einer Zelldichte von $1-1,5 \times 10^6$ Zellen/ml wurden unter den Standardbedingungen (Standardmedium, 37°C Kultur- und Infektionstemperatur) mit dem Virus der Frühsommer-Meningoencephalitis (Stamm K23, Niedrig et al., 1994, Acta Virologica 38: 141–149) infiziert. Abweichend zu den vorstehenden Beispielen wurden zur Infektion stark variierende MOI's eingesetzt. Darüberhinaus wurden die Infektionskulturen teilweise in chemisch definiertem Medium oder in Medium ohne proteinhaltige Zusätze gehalten. Es wurden verschiedene Kultur- und Ernteverfahren angewandt, die beispielhaft zeigen, dass sich mit System auch bei Änderung verschiedener Parameter hohe Ausbeuten erzielen lassen und sogar mehrfache Ernten möglich sind. Diese Änderungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die Virustitration erfolgte in A 549-Zellen (ECACC Nr. 86012804) und wurde nach 5 Tagen anhand der CPE ausgewertet. Bemerkenswert war die Tatsache, dass die wiederholte Ernte ein und derselben Kultur jeweils mit einem Austausch des Kulturmediums einherging, so dass die Zellen bei jeder Ernte mit neuem Medium versorgt wurden und daher weiter wachsen konnten. Ohne diese Ernten wäre die Kultur nicht über längeren Zeitraum lebensfähig und produktiv geblieben. Da die häufigen Mediumaustausche in kurzen Abständen die hohe Stoffwechselleistung der Kulturen nicht zu kompensieren vermochte, erfolgten weitere Mediumergänzungen und Vergrößerungen der Kulturen nach 4 bzw. 5 Tagen Infektionszeit.

MOI	Ausbeute (log 10 KID ₅₀ /ml) bei Ernte nach ... Tagen								Medium
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>Ansätze mit Mehrfachernten bei vollständigem Medienaustausch:</i>									
2,0		9,0		8,8		8,8			Standardmedium
2,0			9,0		(M- +30)*		8,4		Standardmedium
2,0			6,1		(M+30)		6,1		Proteinfreies Me- dium
0,2			7,8		(M+30)		7,8		Chem. definiertes Medium
0,2		8,7		8,0			7,7		Standardmedium
0,2		8,3		(M+30)	8,6				Standardmedium
0,2			9,0		(M+30)	9,0			Standardmedium
0,2		8,6		9,2			9,0		Standardmedium
0,2		9,0			9,0			8,6	Standardmedium
0,2			7,3		(M+30)	8,2			proteinfreies Me- dium
0,2			7,2		(M+30)	8,6			Chem. definiertes Medium
<i>Ansätze mit Probenahme ohne Medienaustausch oder -Ergänzung</i>									
10 ^{-0,3} (=- 0,5)	7,7	8,3	9,2	9,4	9,3				Standardmedium
10 ^{-0,3}	6,3	7,5	8,4	8,6	8,9				Medium MEM, <u>adhärente</u> Kultur, 1% FKS
10 ^{-1,3} (=- 0,05)	5,2	6,3	6,6	6,8	6,8				Standardmedium, Temperaturüber- schreitung durch Rührer
10 ^{-1,3}	5,1	6,2	7,1	8,0	8,4				Standardmedium
10 ^{-2,3}	4,8	6,2	7,6	7,5	8,1				Standardmedium
10 ^{-3,3}	3,4	4,7	4,9	5,6	6,0				Standardmedium
10 ^{-4,3}	2,7	3,7	4,3	4,3	4,4				Standardmedium
10 ^{-5,3}	2,5	2,6	3,4	3,7	4,3				Standardmedium

Tabelle 3: Vermehrung von FSME Virus/K23 in MDCK 33016-Kulturen in Standardmedium sowie in alternativen Medien unter Verwendung verschiedener MOI und Erntevarianten

*) (M + 30) bedeutet Mediumergänzung +30% des Kulturvolumens am angegebenen Tag

Beispiel 23: Vermehrung von Picornaviren

[0099] Adhärente MDCK-33016 Kulturen wurden zur Infektion mit Hepatitis A Virus (HAV, Stamm HM 175, ATCC VR-1358) in MEM-Medium mit Zusatz von 5% fötalem Kälberserum und Bicarbonat (vergleiche Beispiel 2) kultiviert. Im Rahmen des Versuches wurde außerdem ein weiteres Virusisolat "München" verwendet (vergleiche Frösner et al. 1979; Infektion 7: 303–305). Das Virus wurde verdünnt in die frisch angesetzte Kultur inokuliert, und die Kulturen wurden bei 37°C inkubiert. In abwechselndem Turnus von 3–4 Tagen wurden die Kulturen 1:4 weiter passagiert.

[0100] Suspensionskulturen von MDCK-33016 Zellen wurden in Standardmedium gemäß Beispiel 1 kultiviert, mit HM 175 inkuliert und bei 33°C inkubiert und anschließend wöchentlich 110 passagiert. Die adhärenten Zellen und Suspensionskulturen wurden nach Infektion für bis zu 35 Tage weiter unterhalten. Danach erfolgte der Nachweis der aktiven Virusreplikation anhand des CPE (Stamm HM 175) oder nach einer bereits beschriebenen Methode (siehe Virustitration, Seite 93 in Gregersen et al. 1988; Med. Microbiol. Immunol. 177: 91–100). Abweichend wurde als virusspezifischer Antikörper ein humaner Anti-HAV-Antikörper als gereinigtes IgG eingesetzt (Bezeichnung F 86012, freundlicherweise überlassen von der Firma Dade Behring). Als Anti-human IgG Antikörper mit Biotin-Markierung wurde Produktnummer 39015 (Firma Sigma) eingesetzt. Der spezifische Nachweis einer aktiven Virusvermehrung mit diesem System liefert braun-rosa gefärbte Zellen, die bei geringer Vergrößerung im Mikroskop leicht zu erkennen sind. Virus-negative Zellen erscheinen dagegen ungefärbt oder weisen nur eine ganz geringfügige Färbung auf. Mit denselben Nachweismethoden wurden auch Virustitrationen drei Wochen nach dem Ansatz ausgewertet, für die humane diploide Zellen (MRC-5) als Kultursystem benutzt wurden.

[0101] In allen oben beschriebenen Infektionsansätzen und mit beiden verwendeten Virusisolaten konnte eine aktive HAV-Replikation in den MDCK-Zellen nachgewiesen werden. In Suspensionskulturen wurde mit dem Stamm HM 175 eine überraschend schnelle Virusvermehrung nachgewiesen. Am Tag 7 nach Infektion lag der gemessene Virustiter im Überstand bei $10^{5,4}$ KID₅₀/ml; diese Kultur wurde wöchentlich durch einfache Verdünnung 1:10 passagiert und lieferte in den resultierenden Kulturen wiederum nach weiteren 7 Tagen ähnliche Virustiter. Am Ende der Kultivierung und nach zwei weiteren Zellpassagen wurden die Virustiter in einer Probe des zellfreien Medium bestimmt. Zusätzlich wurde eine Probe der gesamten Kultur genommen und die darin enthaltenen Zellen durch zweimaliges Einfrieren bei –20°C und Auftauen aufgeschlossen. Die Zellbestandteile wurden durch Zentrifugation entfernt, bevor diese Proben titriert wurden. Die erhaltenen Virusausbeuten aus diesem Ansatz sind in der Tabelle 4 zusammengefaßt und zeigen, dass ohne Einbuße der spezifischen Ausbeuten eine wöchentliche Verzehnfachung der Kulturen möglich ist, wobei trotz der massiven Mengenzunahme gute Virustiter pro Volumeneinheit geerntet werden können. Bemerkenswerterweise wird dabei ein beträchtlicher Anteil an Virus im Überstand gefunden, was für dieses stark zellgebundene Virus ebenfalls überraschend ist (siehe Tabelle 4).

Tag nach Infektion	Zellpassage (Vergrößerung des Kulturvolumens)	Relatives Erntevolumen (Tag 0 = 1)	Virus Gesamtausbeute (KID ₅₀)	
			im Medium	nach Zellaufschluß
7	1:10	1	$10^{7,4}$	$10^{7,8}$
14	1:10	10	$10^{8,5}$	$10^{9,2}$
21	1:10	100	n. b.	n. b.
28	1:10	1000	$10^{10,8}$	$10^{11,4}$
35	Ende	10000	$10^{12,5}$	$10^{14,2}$

Tabelle 4: Vermehrung von Hepatitis A-Virus (Stamm HM 175) in MDCK 33016 Suspensionskulturen unter stetiger Vermehrung und Vergrößerung des Kulturvolumens.

n. b.: nicht bestimmt

Beispiel 24: Vermehrung von Pneumoviren

[0102] Adhärente MDCK-33016 Kulturen wurden zur Infektion mit humanem RSV-A (Stamm A-2; ATCC VR-1302) in MEM-Medium mit Zusatz von 5% fötalem Kälberserum und Bicarbonat (vergleiche Beispiel 2) kultiviert. Das Virus wurde 1:100 verdünnt und in die frisch angesetzte Kultur inkuliert; anschließend wurden die Kulturen bei 37°C inkubiert. Nach einer Woche wurde 1 ml des Kulturüberstandes entnommen und zur Inkulation einer neuen Kultur verwendet, die wiederum 7 Tage inkubiert wurde. Der geerntete Kulturüberstand wurde unter Verwendung von MA-104 Zellen (ECACC 85102918) titriert und zeigte bei Auswertung der Titration anhand des CPE einen Virustiter von $10^{5,5}$ KID₅₀/ml.

Beispiel 25: Vermehrung von Rotaviren

[0103] Zur Infektion mit Simian Rotavirus SA-11 (ATCC, VR-899) wurden adhärente MDCK-33016 Kulturen in MEM-Medium mit Zusatz von 5% Supplement und Bicarbonat (vergleiche Beispiel 2) verwendet. Das Virus wurde 1:100 in die frisch angesetzte Kultur inkuliert und diese mit Trypsin (0,5–10 µg/ml, vorzugsweise 5

mg/ml) supplementiert; die Kultur wurde anschließend bei 37°C inkubiert. In abwechselndem Turnus von 3–4 Tagen wurden die Kulturen 1:4 weiter passagiert.

[0104] Proben der Kultur nach Trypsinisierung wurden dreimal nacheinander eingefroren (–20°C) und wieder aufgetaut und danach für die Virustitration verwendet. Die Virustitration erfolgte in MA-104 Zellen (ECACC 85102918). Die Auswertung der Titration erfolgte anhand des CPE nach 10 Tagen. optimale Virustiter wurden bei diesem Virus je nach Virusgehalt des Ausgangsmaterias erst nach 5–10 Zellpassagen erhalten.

[0105] Anschließend erfolgte die Selektion des Ausgangsmaterials zur Bereitstellung des Saatvirus, die analog zu der in Beispiel 3 beschriebenen Weise erfolgte. Das Saatvirus wurde anschließend wie in den Beispielen 8, 9 oder 10 beschrieben für die Produktion eingesetzt, wobei die angegebenen Trypsinkonzentrationen für die verschiedenen Medien beibehalten wurden.

Beispiel 26: Vermehrung von Vacciniaviren

[0106] Zur Infektion mit Vacciniavirus (Stamm WR, ATCC VR-119) wurden adhärente MDCK-33016 Kulturen in MEM-Medium mit Zusatz von 5% fötalem Kälberserum und Bicarbonat (vergleiche Beispiel 2) verwendet. Das Virus wurde in die frisch angesetzte Kultur inkuliert; die Kultur anschließend bei 37°C inkubiert. Nach 5 Tagen wurde eine Probe des geernteten Kulturüberstandes für eine Virustitration verwendet.

[0107] Suspensionskulturen von MDCK-33016 Zellen wurden in Standardmedium gemäß Beispiel 1 kultiviert, und mit Vacciniavirus unter 1:1000-Verdünnung inkuliert. Bei weiterer Inkubation der infizierten Kultur wurden Proben in Abständen von 2 Tagen entnommen und titriert.

[0108] Die Virustitration erfolgte in Vero-Zellen ("WHO-Seed", erhältlich von ECACC). Die Auswertung der Titration erfolgte anhand des CPE nach 5 Tagen. Virustiter über 10^6 KID₅₀/ml wurden bei einer MOI von 0,01 bereits nach 2–3 Tagen erhalten.

Beispiel 27: Vermehrung von Rhabdoviren

[0109] Suspensionskulturen in Standardmedium gemäß Beispiel 1 wurden in Zellkulturflaschen mit einer Zell-dichte von 1×10^6 Zellen pro ml Medium ausgesät. Nach dem Anwachsen der Kulturen wurden jeweils zwei Kulturen mit einer MOI von 0,01 und eine Kultur mit einer MOI von 0,001 mit einem Tollwutvirus (Stamm Pitman-Moore, Impfstoff-Virusstamm) infiziert. Die Kulturen wurden bei 37°C inkubiert und alle 4 bzw. 3 Tage mit Trypsin abgelöst und im Verhältnis 1:10 (nach 4 Tagen) bzw. 1:8 (nach 3 Tagen) passagiert und so 18 Tage lang unterhalten (siehe Tabelle 5). Der Infektionserfolg wurde bei jeder Passage verfolgt. Eine Kultur wurde mit einer 3,5%igen Formalinlösung versehen und drei Tage lang bei Raumtemperatur in dieser Lösung inkubiert, um eine Inaktivierung der Viren zu erreichen. Nach Entfernen der Formalinlösung wurde die Kultur mit PBS gewaschen und 25 Minuten mit 1% Triton-X100 in PBS bei Raumtemperatur inkubiert. Nach Entfernen dieser Lösung wurde dreimal mit PBS gewaschen und ein FITC-markierter Antikörper gegen Tollwutvirus (50 µl 1:400 verdünntes Kaninchen Anti-Tollwut-IgG-FITC, Dade Behring, OSHY 005) aufgetragen. Nach 90 Minuten Inkubation bei 37°C wurde wiederum mit PBS gewaschen und die Kultur unter einem inversen Fluoreszenzmikroskop beurteilt.

[0110] Alternativ wurde nach Standardmethoden Virustitrationen der Kulturüberstände in MRC-5 Zellen durchgeführt, die ebenfalls nach Formalin/Triton-Vorbehandlung mittels Immunfluoreszenz wie oben beschrieben ausgewertet wurden. Anhand der mit diesem System erzielten Virustiter wurde eine grobe Korrelation zu den Ausbeuten im entsprechenden Herstellverfahren unter Verwendung von MRC-5 Kulturen für einen zugelassenen Humanimpfstoff (Rabivac) vorgenommen, die eine Orientierung ermöglicht, wieviel Impfstoff-Antigen pro ml Kulturernte enthalten ist (siehe Tabelle 5).

[0111] Beide Ansätze (MOI 0,01 und 0,001) zeigten bereits nach 4 Tagen positive Ergebnisse und danach einen ähnlichen Infektionsverlauf, allerdings war bei der geringeren MOI der Infektionsverlauf – erkennbar an den Virustitern, die bis zum Tag 11 etwa 1,2 bis 0,5 log KID₅₀ geringer lagen – geringfügig verlangsamt. Ab der 3. Passage der Kulturen am Tag 11 zeigte sich in allen Kulturen eine sehr intensive, spezifische Immunfluoreszenz mit beginnender Zellzerstörung, die danach weiter zunahm, bis im Verlaufe der 5. Passage am Tag 18 ein Großteil der Zellen völlig zerstört war, so dass die Infektion beendet wurde. Der Gehalt an spezifischem Virus nahm bis zum Tag 14 stetig zu, um danach infolge der zunehmenden Zellzerstörung wieder abzunehmen. Die Ergebnisse dieses Infektionsverlaufes sind in folgender Tabelle zusammengefasst und zeigen, dass – gemessen an der bekannt langsamen Virusvermehrung von Rabiesviren – eine sehr schnelle Virusvermeh-

rung ohne Adaptation in diesen Zellen zu erwarten ist, wobei trotz fortlaufender Weitervermehrung der Zellen in regelmäßigen Abständen und wiederholt gute Antigenausbeuten geerntet werden können.

Tag nach Infektion	Passage der Zellen	Relatives Kulturvolumen	Tollwut-Antigen (Impfdos/ml)
4	1:4	1	nicht bestimmt
7	1:3	4	nicht bestimmt
11	1:4	12	0,2–0,4
14	1:3	36	0,4–0,5
18	entfällt	108	0,4–0,5

Tabelle 5: Vermehrung von Tollwutvirus in MDK 33016 Kulturen bei fortlaufender Vergrößerung des Kulturvolumens

[0112] In ähnlicher Weise wurde das gleiche Virus direkt in Suspensionskulturen gemäß Beispiel 1 inkuliert, wobei zusätzlich eine MOI von 0,0001 eingesetzt wurde. Es wurde wiederum ausschließlich Standardmedium für den gesamten Infektionsverlauf eingesetzt und die Kulturen wurden ebenfalls wöchentlich zweimal 1:8 bzw. 1:10 umgesetzt. Das Umsetzen erfolgte hierbei jeweils nur durch einfaches Verdünnen der Zellen in frischen Medium und Neuaussaat. Der Infektionserfolg wurde hierbei nur noch anhand von Virustitrationen in MRC-5 Zellen wie oben beschrieben verfolgt. Die Infektionen lieferten bei allen drei MOIs bereits nach 4 Tagen positive Virustiter im Kulturüberstand. Die Virustiter stiegen nach anfänglichen Verdünnungsverlusten nach dem 7. Tag von Passage zu Passage und trotz der immer wieder durchgeführten, exponentiellen Verdünnung stetig an, führten jedoch in diesen Suspensionskulturen zu keiner massiven Zellzerstörung. Die Infektion wurde bis zur 8. Passage (Tag 28 nach Infektion) verfolgt und dann abgebrochen.

[0113] Virusproben aus diesen Infektionen wurden als Saatvirus eingefroren und für eine neue Infektion von Suspensionskulturen, beginnend mit 100 ml und ebenfalls in Standardmedium und unter gleichen Passagebedingungen wie oben beschrieben verwendet. Die MOI wurde in diesem Falle auf 0,000025 reduziert. Die Infektion wurde über 6 Zellpassagen (21 Tage) unterhalten. Bei trotz der massiven Passageverdünnungen langsam steigenden Virustitern wurden am Ende dieses Infektionslaufes Virustiter gemessen, die umgerechnet etwa 0,3 Impfstoffdosen pro ml Kulturüberstand ergaben. Wäre tatsächlich das gesamte Kulturvolumen und nicht jeweils nur ein Teil davon weiterpassagiert worden, hätten nach den 6 Passagen etwa 500 Liter Kultur geerntet werden können, die Virusausbeute hätte dabei etwa 150 000 Impfstoffdosen entsprochen.

Beispiel 28: Vermehrung von Togaviren

[0114] Zur Infektion mit japanischem Enzephalitisvirus (ATCC VR-343) wurden adhärente MDCK-33016 Kulturen in Standardmedium oder in EME mit Zusatz von 5% fötalem Kälberserum und Bicarbonat (vergleiche Beispiel 2) verwendet. Das Virus wurde mit einer MOI von 0,1 bis 0,001 verdünnt in die frisch angesetzte Kultur inkuliert. Die Kultur wurde anschließend bei 33°C oder alternativ bei 37°C inkubiert. Die aktive Virusvermehrung wurde anhand von Immunfluoreszenzen mit spezifischem Antiserum in Aceton-fixierten Zellen nachgewiesen und abhängig von der verwendeten MOI wurde der Zeitpunkt maximaler Virusantigen-Präsenz ermittelt. Die Virustitration von Virus-Ernten aus dem Überstand erfolgt in Vero-Zellen und wurde ebenfalls mit Hilfe der Immunfluoreszenz ausgewertet. Alternativ zur Immunfluoreszenz kann analog wie im Beispiel 23 (Vermehrung von Picornaviren für Hepatitis A-Virus beschrieben) ein Avidin-Biotin-Peroxidase-System zum Virusnachweis und für die Auswertung der Titrationen verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur großtechnischen Herstellung von Impfstoffen, bei dem man:
 - (a) eine MDCK-Suspensionskultur in einem Serum-freien, Protein-freien oder chemisch definierten Medium vermehrt, wobei
 - (i) die Vermehrung in einem Fed-Batch-System erfolgt,
 - (ii) das Kulturvolumen durch Zugabe von frischem Medium vergrößert wird, und
 - (iii) ein Produktionsvolumen von mehr als 100 l erreicht wird,
 - (b) die MDCK-Suspensionskultur mit einem Virus infiziert,
 - (c) die Viren in der MDCK-Suspensionskultur vermehrt, und
 - (d) die Viren oder ein von diesen erzeugtes Protein aus der Zellkultur isoliert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Viren mit β -Propiolacton inaktiviert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vermehrung der Zellen vor der Infektion in einem chemisch definierten Medium und die Infektion in einem proteinfreien Medium erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1–3, dadurch gekennzeichnet, dass die MDCK-Zellen von der Zelllinie MDCK-33016 abstammen.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem Virus um einen dsDNS, RNS(+), RNS(–) oder dsRNS Virus handelt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, dass das Virus ausgewählt ist aus Adenoviren, Ortho- oder Paramyxoviren, Reoviren, Picornaviren, Enteroviren, Flaviviren, Herpesviren oder Poxviren.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Virus ein Adenovirus, ein Hepatitis A-Virus, ein Japanisches Enzephalitis-Virus, ein Virus der europäischen Frühsommer-Meningoenzephalitis, ein respiratorisches Syncytialvirus, ein Vaccinia-virus, ein Influenzavirus, ein Rotavirus, ein Rhabdovirus, ein Reo-virus, ein Herpes-Simplex-Virus 1, ein canines Adenovirus, ein porcines Herpesvirus oder ein Pseudorabies-virus ist.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man den Impfstoff mit einem Adjuvant, Hilfsstoff, Puffer, Verdünnungsmittel oder Arzneimittelträger vermischt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–8, das ferner einen Schritt (d) umfasst, bei dem die Viren mittels einer CS-Chromatographiesäule und/oder mit einer Ultrazentrifugation in einem Saccharosegradienten gereinigt werden.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen