Neue permanente humane Zelllinie

Die vorliegende Erfindung betrifft eine permanente humane Zelllinie, umfassend die Nukleinsäuresequenzen für die adenoviralen Genfunktionen E1A und E1B und die Nukleinsäuresequenz für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1). Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur transienten Expression rekombinanter Polypeptide und Proteine in der permanenten humanen Zelllinie.

Neben Bakterien, Hefen und Pflanzenzellen werden insbesondere tierische Zellen zur Produktion rekombinanter Polypeptide oder Proteine verwendet. Etwa 60-70% aller therapeutischen Proteine werden heute in Säugerzellen produziert (Wurm, Nat. Biotechnology 22, 1393-1398, 2004). Die Produktion von rekombinanten Polypeptiden oder Proteinen für therapeutische, diagnostische oder technische Zwecke in Zellkultur, d.h. in vitro, kann grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Weisen erfolgen. In stabilen, dauerhaft oder permanent etablierten Zelllinien ist die Nukleinsäure, die das gewünschte Polypeptid oder Protein kodiert, in mindestens einer Kopie in die chromosomale DNA der Zelle integriert und wird bei der Zellteilung mit dem zellulären Chromosomensatz an die Tochterzellen weitergegeben (sog. stabile Expression in Produktionszelllinien). Zur Herstellung dieser stabilen Produktionszelllinien ist es erforderlich, dass mindestens eine der in die Zelle durch Transfektion eingebrachten Nukleinsäuren eine Genfunktion trägt, die der Zelle einen Selektionsvorteil beim Wachstum in der Zellkultur verschafft. Die Nukleinsäure, die eine solche Genfunktion enthält, muss nicht notwendigerweise auf dem gleichen Molekül wie die Expressionskassette für das gewünschte Polypeptid oder Protein vorhanden sein. Die Genfunktion ist entweder ein Resistenzgen gegen Antibiotika oder Chemotherapeutika im Medium (z.B. häufig bei Säugerzellen verwendet; Wurm, Nat. Biotechnology 22, 1393-1398, 2004), ein Gen, dessen Genprodukt einen defizienten Stoffwechselweg komplementiert (z.B. bei Hefezellen verwendet), oder eine transformierende Genfunktion (für humane Fruchtwasserzellen gezeigt; Schiedner et al., BMC Biotechnology 8, 13, 2008). Auf diese Weise wird gewährleistet, dass solche Zellen, bei denen eine stabile Integration der transfizierten Nukleinsäure in die chromosomale DNA der Zelle erfolgt ist und das

Genprodukt hergestellt wird, die anderen Zellen ohne derartige Integration überwachsen und selektiert werden können. Bei der Gewinnung der Produktionszellen wird durch Transfektion in die sog. Wirts-Zelllinie zum einen die Nukleinsäure, die das rekombinante Polypeptid kodiert (das sog. Transgen), mit den notwendigen transkriptionellen Regulationselementen transferiert, zum anderen eine zweite Expressionskassette mit einem Gen, das einen Selektionsmarker kodiert und dessen Genprodukt der Zelle einen bestimmten Selektionsvorteil verschafft. Wenige Tage nach dem Gentransfer, während denen die Zellen z.B. in einem Kulturmedium ohne Selektionsreagenz kultiviert werden, wird dem Medium ein geeignetes Selektionsreagenz zugesetzt. In Gegenwart des Selektionsreagenz überleben und wachsen nur die Zellen, die die zur Transfektion benutzten Nukleinsäuren aufgenommen haben und den Selektionsmarker exprimieren. Häufig benutzte Selektionsmarker sind das Neomycin-Resistenzgen, das Hygromycin-Resistenzgen und die Dihydrofolat-Reduktase (DHFR)(Wurm, Nat. Biotechnology 22, 1393-1398, 2004; Wurm und Jordan, 309-333 in: Makrides (Hrsg.), Gene Transfer and Expression in Mammalian Cells, Elsevier, Amsterdam, 2003). Die Selektion erfolgt entsprechend in Kulturmedium mit den Selektionsreagenzien wie den Antibiotika Neomycin oder Hygromycin bzw. dem synthetischen Glukokortikoid Methotrexat. Zellen mit dem Selektionsmarker und dem Transgen, die den Selektionsprozess überleben und proliferieren (sog. Transformanten), werden in der Regel anschließend vereinzelt (kloniert), um sicherzustellen, dass alle Zellen in der Kultur genetisch identisch sind und um die gewünschten Produktionszelllinien mit der besten Produktionsrate von weniger gut produzierenden Zelllinien zu trennen.

Bei der sog. transienten Expression wird dagegen die durch Transfektion in die Zelle eingebrachte Nukleinsäure, die das gewünschte Polypeptid oder Protein kodiert, nicht in die chromosomale DNA der Zelle integriert bzw. nicht auf dieses Ereignis selektioniert, und damit wird die eingebrachte Nukleinsäure in der Regel im Laufe der Zellteilungen während des Wachstums der Kultur ausverdünnt und geht verloren, was die vorübergehende, transiente Natur dieses Expressionsverfahrens bedingt. Die Selektion stabiler Produktionszelllinien mit guter Expressionseffizienz dauert einige Monate und verursacht beträchtliche Kosten. Durch transiente Expression können dagegen durchaus Milligramm-Mengen des gewünschten Polypeptids oder Proteins innerhalb einiger Tage hergestellt werden. Geschwindigkeit und Kosten sind wesentliche Faktoren bei der industriellen Entwicklung von biopharmazeutischen und diagnostischen Produkten. Die transiente Expression von Proteinen in kleineren Mengen oder von verschiedenen Varianten eines Proteins wird deshalb außer in der

Grundlagenforschung für die frühe explorative und präklinische Entwicklung durchgeführt, z.B. bei der Target-Identifizierung, Assay-Entwicklung, biochemischen Charakterisierung der Genprodukte, für die Toxikologie und pharmakokinetische sowie pharmakodynamische Untersuchungen (Baldi et al., Biotechnol. Lett. 29, 677-684, 2007; Pham et al., Molecular Biotechnology 34, 225-237, 2006). Die industrielle Herstellung von Proteinen im Gramm- bis Kilogramm-Maßstab für die Durchführung größerer klinischer Studien und die Marktversorgung erfolgt dagegen mit Hilfe stabiler Produktionszelllinien.

In EP 1948789 wird beispielsweise ein Verfahren zur Herstellung einer permanenten humanen Amniozyten-Zelllinie durch Transfektion eines Zell-transformierenden Faktors ohne die Verwendung eines Selektionsmarkers beschrieben.

Sezernierte, membranständige und intrazelluläre Proteine konnten bisher durch transiente Genexpression hergestellt werden. Säugerzellen sind für viele komplexe Proteine die derzeit gebräuchlichen Expressionssysteme, insbesondere wenn die Proteine für therapeutische Zwecke eingesetzt werden sollen, da prokaryotische und niedrige eukaryotische Zellsysteme (z.B. Hefen) hinsichtlich posttranslationaler Modifikationen deutlich benachteiligt sind. Für die transiente Proteinexpression wurden bisher im wesentlichen vier Säugerzelllinien verwendet: COS-1 bzw. COS-7-Zellen, die von der CV-1-Affennierenzelllinie der afrikanischen Grünen Meerkatze abstammen; BHK-Zellen, die von neonatalen Hamster-Nierenzellen abstammen; CHO-Zellen, die von Ovarialzellen des Chinesischen Hamsters abstammen; und HEK293-Zellen, eine humane embryonale Nierenzelllinie mit neuronalen Charakteristika (Pham et al., Molecular Biotechnology 34, 225-237, 2006; Wurm et Bernard, Current Opinion in Biotechnology 10, 156-159, 1999). Neben der Verwendung von viralen Expressionsvektoren wie Semliki-Forest-Virus oder Adenovirus, die effizient aber aufwendig und mit hohen Sicherheitsanforderungen verbunden und deshalb wenig verbreitet sind, basiert die transiente Expression in diesen Säugerzelllinien in der Regel auf der Transfektion eines Plasmidvektors, der die Expressionskassette mit der kodierenden Sequenz für das gewünschte Genprodukt enthält. Für den DNA-Transfer in kultivierte Säugerzellen wurde eine Vielzahl von physikalischen und chemischen Methoden entwickelt. Zu den physikalischen Gentransfermethoden gehören die Elektroporation, die Nukleofektion und die Mikroinjektion. Bei den chemischen Transfektionsverfahren bedient man sich anorganischer Substanzen (z.B. Calciumphosphat/DNA-Copräzipitation), kationischer Polymere (z.B. Polyethylenimin, DEAE/Dextran-Verfahren) oder kationischer Lipide (sog. Lipofektion). Calciumphosphat und

Polyethylenimin sind die am häufigsten für den Nukleinsäuretransfer in größerem Maßstab (bis einige Liter) verwendeten Transfektionsreagentien (Baldi et al., Biotechnol. Lett. 29, 677-684, 2007).

Die beschriebenen Verfahren zur transienten Expression von Polypeptiden und Proteinen auf der Basis lange bekannter Zelllinien haben in verschiedener Hinsicht Nachteile. Ein Problem im Zusammenhang mit transienten Verfahren sind die geringen Expressionsleistungen. Zur Verbesserung der zellulären Expressionsausbeuten wurden verschiedene genetische Systeme benutzt, um die Anzahl der Genkopien pro Zelle mit Hilfe episomaler Replikation der eingebrachten Nukleinsäure zu erhöhen. COS-Zellen exprimieren das große T-Antigen von Simian Virus 40 (SV40), ein Replikationsfaktor, der eine episomale Replikation von Plasmiden, die einen SV40-Replikationsursprung (SV40 ori) tragen, auf hohe Kopienzahl bewirkt. Initiales Ereignis dieser Replikation ist die Bindung des T-Antigens an den SV40-Replikationsursprung (SV40 ori), wodurch zelluläre Replikationsfaktoren an den DNA/T-Antigen-Komplex rekrutiert und eine Replikation mittels zellulärer DNA-Polymerase eingeleitet wird. Von der HEK293-Zelllinie, die vor etwa 30 Jahren durch Transformation humaner embryonaler Nierenzellen mit gescherter Adenovirus-Typ 5-DNA generiert wurde und die gut transfizierbar ist, wurden zwei genetische Varianten beschrieben, die ebenfalls das große T-Antigen von SV40 (HEK293T) bzw. das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1) exprimieren (HEK293E oder 293EBNA-1). Diese Zelllinien sollen eine episomale Replikation oder Amplifikation von Plasmiden gewährleisten, die einen SV40-ori bzw. einen EBV-oriP enthalten. Der Replikationsfaktor EBNA-1 wechselwirkt im letzteren Falle mit dem EBV-Replikationsursprung oriP. Zumindest für HEK293E-Zellen ist eine Erhöhung der Expressionsausbeuten bei Verwendung von oriP-enthaltenden Expressionsplasmiden nachgewiesen. Im Gegensatz zur Verwendung von EBNA-1 in Kombination mit dem Replikationsursprung oriP deuten manche Studien darauf hin, dass keine starke Replikation von SV40-ori-haltigen Plasmiden in HEK293T-Zellen erfolgt (Durocher et al., Nucleic Acid Research 30, e9, 2002). Von CHO-Zellen wurde eine stabile Variante generiert, die das große T-Antigen (LT) von Polyomavirus exprimiert (Epi-CHO) und in Kombination mit einem Plasmid eingesetzt werden kann, das den Polyomavirus-Replikationsursprung (PyOri) trägt (Kunaparaju et al., Biotechnology and Bioengineering 91, 670-677, 2005). Mit solchen Säugerzell-Systemen werden im Durchschnitt bei der transienten Expression rekombinanter Proteine Ausbeuten von etwa 10-20 mg/Liter erzielt (Baldi et al., Biotechnol. Lett. 29, 677-684, 2007). Mit stabilen, permanenten Produktionszelllinien sind dagegen

durchaus Ausbeuten im Bereich von mehreren Gramm pro Liter üblich, allerdings wie beschrieben mit ganz erheblich höherem Zeit- und Kostenaufwand.

Ein weiterer Nachteil der bisher für die rekombinante Proteinexpression verwendeten Zellsysteme besteht darin, dass sich manche Zelllinien auf Grund guter Transfizierbarkeit und der Fähigkeit zur episomalen Plasmid-Amplifikation zwar für die transiente Expression eignen (z.B. HEK293T oder HEK293E-Zellen), aber andere Zelllinien wegen ihrer Kultivierungseigenschaften und Ausbeuten bevorzugt für die Herstellung stabiler Zelllinien verwendet werden (z.B. CHO-Zellen). Da sich Zellsysteme in verschiedenen Aspekten der posttranslationalen Modifikation aber deutlich unterscheiden, können nach transienter Expression (meist in der frühen Entwicklungsphase proteintherapeutischer Produkte) in einem best. Zellsystem gewonnene Daten zu Struktur und Funktion der Genprodukte nur sehr eingeschränkt auf die Struktur und Funktion dieser Genprodukte nach Expression in stabilen Zelllinien eines anderen Zellsystems (meist in der späteren Entwicklungsphase, für klinische Studien und Marktversorgung) übertragen werden. Bei vielen therapeutischen Produktkandidaten sind posttranslationale Modifikationen, wie z.B. Glykosylierung, Phosphorylierung, Carboxylierung, Palmitylierung oder spezifische Spaltungen, für unterschiedliche Eigenschaften der Expressionsprodukte von großer Bedeutung. Sie können wesentlichen Einfluss auf die Aktivität, Löslichkeit, Halbwertszeit, Stabilität oder Immunogenität haben. Deshalb spielen humane Zellsysteme für die Herstellung therapeutischer Proteine eine zunehmende Rolle; nur humane Zellen als Produktionsstätten gewährleisten eine authentische, humane Modifizierung der Expressionsprodukte und reduzieren damit das Risiko beeinträchtigter Produktqualitäten oder unerwünschter Nebenwirkungen. So ist beispielsweise für rekombinantes Erythropoietin, das humantherapeutisch eingesetzt wird, bekannt, dass in CHO-Zellen hergestelltes Protein (Epoetin Alpha) N-Glycolyl-Neuraminsäure-Reste in seinen Kohlenhydrat-Seitenketten aufweist, während das in humanen Zellen hergestellte Protein (Epoetin Delta) – genauso wie das natürliche humane Erythropoietin – keine solchen Zuckerreste enthält. Vor dem Hintergrund, dass der Mensch nachweislich zirkulierende Antikörper gegen diese „fremden“ Zuckerstrukturen bildet, erscheint der Einsatz eines humanen Expressionssystems vorteilhaft (Varki, Am. J. Phys. Anthropol. 33, 54-69, 2001). Zur Zeit ist kein humanes Zellsystem verfügbar, das sich für die transiente Expression und die Herstellung stabiler Produktionszelllinien gleichermaßen gut eignet und damit ein reproduzierbares Produktprofil über die gesamte Entwicklung eines proteinbasierten Therapeutikums gewährleistet.

Humane Zellen sind für die Herstellung humaner Biotherapeutika besonders gut geeignet, da sie komplexe Polypeptide – im Gegensatz zu anderen zu anderen Säugerzellen oder tierischen Zellen – mit authentischem posttranslationalem Modifikationsmuster exprimieren. Das Glykosylierungsmuster komplexer rekombinanter Proteine, also die Struktur und Anordnung der Zuckerreste im Molekül, wird bei einer Herstellung in humanen Zellen wesentlich besser das Muster des authentischen humanen Polypeptids reproduzieren als bei einer Herstellung in nicht-humanen Produktionssystemen. Dieses Glykosylierungsmuster ist häufig für wichtige Eigenschaften des Polypeptids wie biologische Aktivität, Stabilität, Löslichkeit und Immunogenität von entscheidender Bedeutung.

Daher liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein humanes Zellsystem bereitzustellen, das sich für die transiente Expression von Polypeptiden und die Herstellung stabiler Produktionszelllinien gleichermaßen gut eignet.

Die Aufgabe wird durch den in den Patentansprüchen definierten Gegenstand gelöst.

Die nachfolgenden Figuren erläutern die Erfindung.

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau der Plasmide zur permanenten Expression von T-Antigen. In pGS158 (Fig. 1a) wird T-Antigen unter der Kontrolle des humanen CAG-Promotors (ein Hybridpromotor aus dem Immediate Early-Enhancer des humanen Cytomegalievirus und einem modifizierten Huhn β-Aktin Promotor mit erstem Intron) (Niwa et al., Gene 108:193-199, 1991) exprimiert, in pGS159 (Fig. 1b) unter der Kontrolle des RSV- (Rous Sarkoma Virus-) Promotors (Makrides, 9-26 in: Makrides (Hrsg.), Gene Transfer and Expression in Mammalian Cells, Elsevier, Amsterdam, 2003) und in pGS161 (Fig. 1c) unter Kontrolle des humanen CMV- (Cytomegalievirus-) Promotors (Makrides, 9-26 in: Makrides (Hrsg.), Gene Transfer and Expression in Mammalian Cells, Elsevier, Amsterdam, 2003).
Fig. 2 zeigt schematisch den Aufbau der Plasmide zur transienten Expression des humanen Alpha1-Antitrypsins (hAAT) bzw. humanen Erythropoietins (Epo), jeweils unter der Kontrolle des humanen CMV-Promotors. Plasmid pGS116 (Fig. 2a) und pGS151 (Fig. 2b) haben identische Expressionskassetten für hAAT, pGS151 enthält zusätzlich den Startpunkt der DNA-Replikation von Simian Virus 40 (SV40 ori). pGS177 enthält ebenfalls zusätzlich zur Epo-Expressionskassette den SV40 ori.

Fig. 3 zeigt schematisch die Menge an transient im Kulturüberstand exprimiertem hAAT in verschiedenen T-Antigen-exprimierenden Amniozyten-Zelllinien (CAP-T Z582, Z583 und Z597) im Vergleich zur parentalen Amniozyten-Zelllinie (CAP) ohne T-Antigenexpression. In Z582 wird das T-Antigen unter Kontrolle des CAG-Promotors (Niwa et al., Gene 108:193-199, 1991) exprimiert, in Z583 unter Kontrolle des RSV-(Rous Sarkoma Virus-) Promotors (Makrides, 9-26 in: Makrides (Hrsg.), Gene Transfer and Expression in Mammalian Cells, Elsevier, Amsterdam, 2003) und in Z597 unter Kontrolle des CMV-(Cytomegalie) Promotors (Makrides, 9-26 in: Makrides (Hrsg.), Gene Transfer and Expression in Mammalian Cells, Elsevier, Amsterdam, 2003).

Fig. 4 zeigt schematisch die Menge an transient im Kulturüberstand exprimiertem hAAT (Balken) und die Lebendzellzahl (Linien) zu verschiedenen Zeitpunkten nach Transfektion eines Plasmids ohne SV40 ori (hAAT/Zellzahl – ori, Plasmid pGS116) bzw. mit SV40 ori (hAAT/Zellzahl +ori, pGS151).

Fig. 5 zeigt schematisch die Menge an transient im Kulturüberstand exprimiertem hAAT (Balken) und die Lebendzellzahl (Linien) zu verschiedenen Zeitpunkten nach Transfektion von pGS151 (mit SV40 ori) in CAP-T und HEK293T Zellen.

Fig. 6 zeigt schematisch die intrazelluläre Kopienzahl der Plasmide pGS116 (ohne SV40 ori) bzw. pGS151 (mit SV40 ori) zu verschiedenen Zeitpunkten nach Transfektion in CAP-T und HEK293-T Zellen.

Fig. 7 zeigt schematisch die Menge an transient im Kulturüberstand exprimiertem hAAT (Balken) und die Lebendzellzahl (Linien) zu verschiedenen Zeitpunkten nach Transfektion von pGS151 (mit SV40 ori) in CAP-T mit Polyethylenimin (PEI) als Transfektionsreagenz.

Unter dem Begriff „Amniozyten“ wie hier verwendet, versteht man im weiteren Sinne alle Zellen, die im Fruchtwasser vorhanden sind und durch Fruchtwasserpunktion gewonnen werden können. Die Zellen stammen entweder vom Amnion oder von fetalem Gewebe, das im Kontakt mit der Amnionflüssigkeit ist. Es wurden drei Hauptklassen von Amniozyten beschrieben, die auf Grund morphologischer Kriterien unterschieden werden: Fibroblastenartige Zellen (F-Zellen), epitheloide Zellen (E-Zellen) und

Amnionflüssigkeitszellen (Amniotic Fluid Cells, AF-Zellen) (Hohn et al., Pediat. Res. 8:746-754, 1974). AF-Zellen sind der vorherrschende Zelltyp.

Unter dem Begriff „Expressionskassette" wird insbesondere ein Nukleinsäuremolekül bzw. ein Bereich eines Nukleinsäuremoleküls verstanden, das ein vor der kodierenden Region liegendes regulatorisches Element oder Promotor, eine kodierende Region bzw. einen offenen Leserahmen, sowie ein hinter der kodierenden Region liegendes transkriptionelles Terminationselement enthält. Das vor der kodierenden Region liegende regulatorische Element bzw. der Promotor kann ein konstitutiver, d.h. permanent die Transkription aktivierender Promotor (z.B. CMV-Promotor) oder ein regulierbarer, d.h. an- und/oder abschaltbarer Promotor (z.B. Tetrazyklin-regulierbarer Promotor) sein. Die kodierende Region der Expressionskassette kann ein durchgehender offener Leserahmen wie bei einer cDNA mit einem Startcodon am 5'-Ende und einem Stoppcodon am 3'-Ende sein. Die kodierende Region kann aus einer genomischen oder einer neu kombinierten Anordnung von kodierenden Exons und dazwischenliegenden, nicht-codierenden Introns bestehen. Die kodierende Region der Expressionskassette kann aber auch aus mehreren offenen Leserahmen bestehen, die durch sog. IRES (Internal Ribosome Entry Sites) voneinander getrennt sind.

Unter dem Begriff „permanente Zelllinien" wie hier verwendet, versteht man Zellen, die derart genetisch verändert sind, dass sie unter geeigneten Kulturbedingungen permanent in Zellkultur weiterwachsen können. Solche Zellen werden auch immortalisierte Zellen genannt.

Unter dem Begriff „Polypeptid" oder „rekombinantes Polypeptid" wie hier verwendet, werden Peptide aus mindestens 2 Aminosäuren verstanden. Das Polypeptid kann ko- und/oder posttranslational modifiziert werden, z.B. durch das Anhängen von Zuckerresten oder durch Modifikation von Aminosäureresten. Das Polypeptid kann linear, zirkulär oder verzweigt sein. Ferner kann das Polypeptid aus mehr als einer Aminosäurekette bestehen, wobei die Ketten durch intra- und/oder intermolekulare Bindungen mehr oder weniger komplexe Raumstrukturen einnehmen können (z.B. Sekundär-, Tertiär-, Quartärstruktur). Besteht das Polypeptid aus einer Aminosäurekette, kann diese auch durch intramolekulare Bindungen mehr oder weniger komplexe Raumstrukturen einnehmen. Die Polypeptide können pharmakologisch oder immunologisch aktive Polypeptide oder für diagnostische Zwecke verwendete Polypeptide sein.

Unter dem Begriff „primäre Zellen“ wie hier verwendet, versteht man Zellen, die durch direkte Entnahme aus einem Organismus oder einem Gewebe erhalten und in Kultur genommen wurden. Primäre Zellen besitzen nur eine sehr begrenzte Lebensdauer.

Unter dem Begriff „Produktionszelllinien“ wie hier verwendet, versteht man permanente Zelllinien, die durch Einbringen eines Transgens, welches das zu produzierende gewünschte Polypeptid kodiert, stabil genetisch verändert wurden.

Unter dem Begriff "CAP" wie hier verwendet, versteht man permanente humane Amniozytenzelllinien, die durch Immortalisierung von primären humanen Amniozyten mit adenoviralen Genfunktionen E1A und E1B generiert worden sind.

Unter dem Begriff "CAP-T" wie hier verwendet, versteht man CAP-Zellen, die zusätzlich mit einem Nukleinsäuremolekül enthaltend die Sequenz des SV40 großen T-Antigens stabil transfiziert wurden.

Unter dem Begriff „Transfektion“ wie hier verwendet, wird jedes Verfahren verstanden, das sich zum Einbringen der genannten Nukleinsäure(n) in die Zellen eignet. Als Beispiele sind die klassische Kalziumphosphat-Methode, Elektroporation, liposomale Systeme jeglicher Art und Kombinationen dieser Verfahren zu nennen.

Unter dem Begriff „transiente Expression“ wie hier verwendet, versteht man jedes Verfahren, bei dem durch Transfektion Nukleinsäure(n) in die Zelle eingebracht werden, ohne dass durch ein geeignetes Selektionsverfahren stabile Zelllinien selektioniert werden, die auf Dauer in der Zellkultur weiter kultiviert werden können.

Unter dem Begriff „stabile Expression“ wie hier verwendet versteht man die Expression eines Transgens in Produktionszelllinien.

Unter dem Begriff „Transgen“ wie hier verwendet versteht man die ein rekombinantes Polypeptid kodierende Nukleinsäuresequenz.

Ein Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer permanenten humanen Zelllinie, das die folgenden Schritte umfasst:

a) Transfizieren primärer humaner Zellen mit einem Nukleinsäuremolekül umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für die adenoviralen Genfunktionen E1A und, E1B; sog. 1. Transfektion und
b) anschließende Transfektion der permanenten humanen Zellinie mit einem Nukleinsäuremolekül umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für das große T-Antigen von SV40, sog. 2. Transfektion.

Vorzugsweise umfasst das Nukleinsäuremolekül aus Schritt b) des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer permanenten humanen Zelllinie eine Nukleinsäuresequenz kodierend für eine nicht-sezernierte Form des großen T-Antigens von SV40.

Bei der Transfektion in Schritt b) des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die permanente humane Zelllinie alternativ mit einem Nukleinsäuremolekül transfiziert, umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1), sog. 2. Transfektion. Vorzugsweise umfasst das Nukleinsäuremolekül eine Nukleinsäuresequenz kodierend für eine nicht-sezernierte Form des Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1).

Durch die im erfindungsgemäßen Verfahren durchgeführten Transfektionen werden die primären humanen Zellen bevorzugt stabil transfiziert, d.h. die transfizierte DNA wird in das Genom der Zelle integriert.

Durch die Transfektion der primären humanen Zellen mit dem Nukleinsäuremolekül umfassend die für E1A- und E1B-kodierenden Nukleinsäuresequenzen, werden die Zellen immortalisiert. Das zur Immortalisierung der primären humanen Zellen verwendete Nukleinsäuremolekül umfasst E1A- und E1B-Nukleinsäuresequenzen, die vorzugsweise von humanen Adenoviren stammen, insbesondere vom humanen Adenovirus Serotyp 5. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das zur Immortalisierung verwendete Nukleinsäuremolekül, neben den E1A und E1B-kodierenden Nukleinsäuresequenzen, die Nukleinsäuresequenz kodierend für die adenovirale pIX-Genfunktion. Das pIX-Polypeptid, ein virales Strukturprotein, wirkt als Transkriptionsaktivator auf verschiedene virale und zelluläre Promotoren wie z.B. den Thymidinkinase- und den Beta-Globin-Promotor.

Eine beispielhafte Sequenz findet sich in Genbank Acc. Nr. X02996. Insbesondere umfassen die Nukleinsäuremoleküle die Nukleotide 1 bis 4344 (SEQ ID NO:1 umfasst Nukleinsäuresequenzen kodierende für E1A, E1B und pIX), 505 bis 3522 (SEQ ID NO:2 umfasst Nukleinsäuresequenzen kodierend für E1A und E1B) oder die Nukleotide 505 bis 4079 (SEQ ID NO:3 umfasst Nukleinsäuresequenzen kodierend E1A, E1B und pIX) des humanen Adenovirus Serotyp 5.

Insbesondere werden die humanen Zellen mit den zu exprimierenden Nukleinsäuresequenzen kodierend für die gewünschte Genfunktion in Form einer Expressionskassette transfiziert. Die Expressionskassette umfasst ein Nukleinsäuremolekül, die ein vor der kodierenden Region liegendes regulatorisches Element oder Promotor, eine kodierende Region bzw. einen offenen Leserahmen, sowie ein hinter der kodierenden Region liegendes transkriptionelles Terminationselement enthält.

Die Expressionskassette oder das Nukleinsäuremolekül enthält in einer Ausführungsform insbesondere die Nukleinsäuresequenz für das große SV40 T-Antigen (SEQ ID NO:4), die Nukleinsäuresequenz für einen Promotor ausgewählt aus der Gruppe CMV-Promotor (SEQ ID NO:5), CAG-Promotor (Niwa et al., Gene 108:193-199, 1991) und RSV-Promotor (Genbank Acc. Nr.DQ075935), die Sequenz für SV40 SD/SA (intron) (SEQ ID NO:6) und die Nukleinsäuresequenz für SV40 polyA (SEQ ID NO:7).

Die Expressionskassette oder das Nukleinsäuremolekül enthält in einer weiteren Ausführungsform insbesondere die Nukleinsäuresequenz für das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1) (SEQ ID NO:8), die Nukleinsäuresequenz für einen Promotor ausgewählt aus der Gruppe CMV-Promotor (SEQ ID NO:5), CAG-Promotor (Niwa et al., Gene 108:193-199, 1991) und RSV-Promotor (Genbank Acc. Nr.DQ075935), die Nukleinsäuresequenz für SV40 SD/SA (intron) (SEQ ID NO:6) und die Nukleinsäuresequenz für SV40 polyA (SEQ ID NO:7).

Die primären humanen Zellen werden durch direkte Entnahme aus dem Organismus oder einem dem Organismus entnommenen Gewebe erhalten und in Kultur genommen. Bevorzugt sind solche primären humanen Zellen, die durch Expression von adenoviralem E1A und E1B gut in permanente humane Zelllinien umgewandelt werden können, insbesondere Amniozyten-Zellen, embryonale Retinazellen und embryonale Zellen neuronalen Ursprungs.

Vorzugsweise werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren permanente humane Amniozyten-Zelllinien hergestellt.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch anstelle des Schritts a) mit bereits vorhandenen immortalisierten humanen Zelllinien, insbesondere mit bereits vorhandenen immortalisierten humanen Amniozyten-Zelllinien durchgeführt werden, die in ihrem Genom die Nukleinsäuresequenzen für die adenoviralen Genfunktionen E1A und E1B aufweisen. Vorzugsweise umfassen die immortalisierten humanen Zelllinien in ihrem Genom die Nukleinsäuresequenzen für die adenoviralen Genfunktionen E1A, E1B und pIX. Die vorhandenen immortalisierten humanen Zelllinien, insbesondere immortalisierte humane Amniozyten-Zelllinien werden bei Bedarf mit den vorstehend beschriebenen Nukleinsäuremolekül enthaltend eine Expressionskassette kodierend für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1) transfiziert. Der Fachmann erkennt, dass die 2. Transfektion zeitlich nur insoweit abhängig von der 1. Transfektion der primären humanen Zelle ist, als dass sie nach der 1. Transfektion erfolgen muss. Es ist nicht erforderlich, dass die 2. Transfektion unmittelbar nach der 1. Transfektion erfolgen muss. So können auch bereits seit etlichen Jahren etablierte immortalisierte humane Zelllinien, die mit E1A und/oder E1B immortalisiert worden sind, bei Bedarf mit den vorstehendem Nukleinsäuremolekül in einer 2. Transfektion transfiziert werden. Vorzugsweise können dazu immortalisierte humane Amniozyten, immortalisierte humane embryonale Retinazellen, insbesondere PER.C6-Zellen, oder immortalisierte humane embryonale Zellen neuronalen Ursprungs, insbesondere HEK293-Zellen, verwendet werden.

Ein Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft eine permanente humane Zelllinie, umfassend die Nukleinsäuresequenzen für die adenoviralen Genfunktionen E1A und E1B und die Nukleinsäuresequenz für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1). Vorzugsweise betrifft die vorliegende Erfindung eine permanente humane Zelllinie, umfassend die Nukleinsäuresequenzen für die adenoviralen Genfunktionen E1A, E1B und pIX und die Nukleinsäuresequenz für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1). Besonders bevorzugt betrifft die vorliegende Erfindung eine permanente humane Amniozyten-Zelllinie, umfassend die Nukleinsäuresequenzen für die adenoviralen Genfunktionen E1A und E1B und die Nukleinsäuresequenz für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus

(EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1). Ganz besonders bevorzugt betrifft die vorliegende Erfindung eine permanente humane Amniozyten-Zelllinie, umfassend die Nukleinsäuresequenzen für die adenoviralen Genfunktionen E1A, E1B und pIX und die Nukleinsäuresequenz für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1).

Insbesondere betrifft ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung eine permanente humane Zelllinie, vorzugsweise eine permanente humane Amniozyten-Zelllinie, die man unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens erhält.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zur transienten Expression von rekombinanten Polypeptiden oder Proteinen unter Verwendung der erfindungsgemäßen permanenten humanen Zelllinie umfassend die folgenden Schritte:

a) Transfizieren der permanenten humanen Zellline mit einem Nukleinsäuremolekül umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für ein gewünschtes rekombinantes Polypeptid oder Protein und eine Erkennungs- oder Bindungsstelle für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1),
b) Kultivieren der in Schritt a) erhaltenen transfizierten permanenten humanen Zelllinie unter Bedingungen, die die Expression des gewünschten rekombinanten Polypeptids oder Proteins erlauben, und anschließend
c) Isolieren des gewünschten rekombinanten Polypeptids oder Proteins aus den Zellen oder aus dem Kulturüberstand.

Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zur transienten Expression von rekombinanten Polypeptiden oder Proteinen unter Verwendung der erfindungsgemäßen permanenten humanen Amniozyten-Zelllinie umfassend die folgenden Schritte:

a) Transfizieren der permanenten humanen Amniozyten-Zellline mit einem Nukleinsäuremolekül umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für ein gewünschtes rekombinantes Polypeptid oder Protein und eine Erkennungs- oder

Bindungsstelle für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1),

b) Kultivieren der in Schritt a) erhaltenen transfizierten permanenten humanen Amniozyten-Zelllinie unter Bedingungen, die die Expression des gewünschten rekombinanten Polypeptids oder Proteins erlauben, und anschließend

c) Isolieren des gewünschten rekombinanten Polypeptids oder Proteins aus den Zellen oder aus dem Kulturüberstand.

Enthält die erfindungsgemäße permanente humane Zelllinie ein Nukleinsäuremolekül umfassend die Nukleinsäuresequenz kodierend für das große T-Antigen von SV40, wird die Zelllinie z.B. mit einem Expressionsplasmid transfiziert, das eine Expressionskassette oder ein Nukleinsäuremolekül umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für das zu exprimierende Transgen und den SV40-Replikationsursprung (SV40 ori) enthält. Das in der Zelllinie stabil intrazellulär exprimierte große T-Antigen von SV40 bindet an den SV40-Replikationsursprung des durch Transfektion in die Zelllinie eingebrachten Expressionsplasmids und bewirkt eine episomale Replikation des Expressionsplasmids und dadurch eine Amplifizierung der Kopienzahl des zu exprimierenden Transgens. Das vom Transgen kodierte gewünschte Genprodukt kann nach Kultivierung der Zellen für einige Tage aus den Zellen oder aus dem Kulturüberstand gewonnen werden. Das Transgens wird somit transient exprimiert.

Enthält die erfindungsgemäße permanente humane Zelllinie ein Nukleinsäuremolekül umfassend die Nukleinsäuresequenz kodierend für das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1), wird die Zelllinie z.B. mit einem Expressionsplasmid transfiziert, das eine Expressionskassette oder ein Nukleinsäuremolekül umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für das zu exprimierende Transgen und den EBV-Replikationsursprung (EBV oriP) (Durocher et al., Nucleic Acids Research Vol. 30 Nr. 2 e9, 2002; Tuvesson et al. Cytotechnology 56:123–136, 2008) enthält. Das in der Zelllinie stabil intrazellulär exprimierte EBNA-1 von EBV bindet an den oriP-Replikationsursprung des durch Transfektion in die Zelllinie eingebrachten Expressionsplasmids und bewirkt eine episomale Replikation des Expressionsplasmids und dadurch eine Amplifizierung der Kopienzahl des zu exprimierenden Transgens. Das vom Transgen kodierte gewünschte Genprodukt kann nach Kultivierung der Zellen für einige Tage aus den Zellen oder aus dem Kulturüberstand gewonnen werden. Das Transgens wird somit transient exprimiert.

Die erfindungsgemäßen Zellen können unter den üblichen Bedingungen für die Kultivierung von eukaryotischen Zellen bei etwa 37°C, 95% Luftfeuchtigkeit und 8% CO_2 kultiviert werden. Die erfindungsgemäßen Zellen können in serum-haltigem oder serum-freiem Medium, in adhaerenter Kultur oder in Suspensionskultur kultiviert werden. Die Kultivierung in Suspension kann in verschiedensten Fermentationsgefäßen erfolgen, z.B. in Rührkesselreaktoren, „Wave"-Reaktoren, in Shaker- oder Spinnergefäßen oder in sog. „Roller Bottles". Die Zellen sind somit für eine Prozess-Expandierung im industriellen Maßstab geeignet. Die Transfektion der Zellen zur transienten Expression kann mit verschiedensten Transfektionsmethoden erfolgen, die oben beschrieben wurden. Transfektion und transiente Expression können auch im „High-Throughput"-Format bzw. –Screening durchgeführt werden, z.B. im 96- oder 384-Well-Format.

T-Antigen von Simian Virus 40 (SV40) ist ein multifunktionales Phosphoprotein, das sowohl die virale Replikation als auch die zellulären Funktionen nach Infektion kontrolliert. T-Antigen ist ein transformierendes Agens und greift über Interaktion mit dem Tumorsupressorprotein p53 in den Zellzyklus ein. Während der Replikation des viralen Genoms wird T-Antigen als DNA-Helikase benötigt, um das doppelsträngige Genom zu entwinden. T-Antigen ist das einzige virale Protein, das für die Replikation benötigt wird. Die anderen Funktionen werden von zellulären Proteinen erfüllt. Im ersten Schritt der DNA-Replikation binden 12 T-Antigen-Moleküle als Doppelhexamere an den Startpunkt der DNA-Replikation (ori) im SV40 Genom. An diesen Helikase-Komplex binden dann die nötigen zellulären Proteine wie DNA-Polymerase und entwinden und replizieren die DNA. Der sog. „minimale ori" besteht aus einer 63-bp-langen „Core"-Sequenz. Bei einer transienten Transfektion von zirkulären Plasmiden in die Zielzelle erfolgt keine Integration in das Wirtsgenom, was dazu führt, dass die Plasmidkonzentration nach Zellteilung stetig abnimmt und die Expression eines auf dem Plasmid liegenden kodierenden Gens nur vorübergehend ist. Das Einbringen des SV40 ori-Fragments in das Expressionsplasmid und die Expression des SV40 T-Antigens in der Produktionszelle führen zu einer erhöhten Kopienzahl des Plasmids und somit zu einer erhöhten Expressionsleistung.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur transienten Expression von Polypeptiden und Proteinen hat den Vorteil, dass es hinsichtlich der Quantität und Qualität des rekombinanten Genproduktes leistungsfähiger und damit im Gesamtprozess der industriellen Entwicklung von Protein-basierten Therapeutika auch kostengünstiger ist als bisher verwendete Verfahren.

Insbesondere ist von Vorteil, dass ein hocheffizientes transientes Expressionssystem auf der Grundlage einer humanen Zelllinie bereitgestellt wird, die erstens im Gegensatz zu nicht-humanen Säugerzellen oder Nicht-Säugerzellen humane Proteine authentisch posttranslational modifiziert, und zweitens gleichermaßen gut für die Etablierung stabiler Produktionszelllinien im industriellen Herstellungsprozess geeignet ist. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass im Zuge der Entwicklung diagnostischer oder therapeutischer Produkte qualitative Merkmale des Genproduktes nach transienter Expression in der frühen Entwicklungsphase und nach stabiler Expression in permanenten Produktionszelllinien in der späten Phase und industriellen Herstellung größtmögliche Identität insbesondere im Hinblick auf Unterschiede in diesen Merkmalen, die in der Natur des Zellsystems begründet sein können, aufweisen.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die erfindungsgemäßen permanenten humanen Zelllinien hohe Expressionsausbeuten bei transienter Expression aufweisen. So wurden bei transienter Expression in SV40-T-Antigen-produzierenden Amniozyten-Zelllinien nach Transfektion mit einem Plasmidvektor, der außer der kodierenden Sequenz für das gewünschte Genprodukt einen SV40-Replikationsursprung (SV40 ori) trägt, unerwarteterweise sehr hohe Produktausbeuten im Kulturüberstand von bis zu 60 mg/Liter gefunden. Die Produktausbeuten waren mehr als 70-fach höher als bei transienter Expression in einer Amniozyten-Zelllinie, die kein T-Antigen exprimiert.

Ein weiterer Vorteil der permanenten humanen Zelllinie gemäß der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass ein humanes Zellsystem, vorzugsweise basierend auf immortalisierten humanen Amniozyten, bereitgestellt wird, das sich sowohl für die transiente Expression von Proteinen als auch für die stabile Expression von Proteinen in permanenten Produktionszelllinien (Schiedner et al., BMC Biotechnology 8, 13, 2008) eignet. Gegenüber der Verwendung unterschiedlicher Zellsysteme für die transiente Expression (z.B. HEK293 oder HEK293-Varianten) und die stabile Expression (z.B. CHO) wird somit das Risiko minimiert, dass sich strukturelle oder funktionelle Eigenschaften der Expressionsprodukte aus transienter und stabiler Produktion, die in der Natur des Expressionssystems begründet liegen, unterscheiden. Dadurch wird der Entwicklungsprozess besser planbar, weniger zeitaufwendig und kostengünstiger.

Die Nukleinsäuresequenzen für die Expression des mindestens einen rekombinanten Polypeptids liegen in mindestens einer Expressionskassette vor. Die Expressionskassetten

enthalten Promotoren und transkriptionelle Terminationssequenzen. Als Promotoren können z.B. CMV- (Cytomegalievirus-) Promotor (Makrides, 9-26 in: Makrides (Hrsg.), Gene Transfer and Expression in Mammalian Cells, Elsevier, Amsterdam, 2003), EF-1α-Promotor (Kim et al., Gene 91:217-223, 1990), CAG-Promotor (ein Hybridpromotor aus dem Immediate Early-Enhancer des humanen Cytomegalievirus und einem modifizierten Huhn β-Aktin Promotor mit erstem Intron) (Niwa et al., Gene 108:193-199, 1991), humaner oder muriner pgk- (Phosphoglyceratkinase-) Promotor (Adra et al., Gene 60:65-74, 1987), RSV- (Rous Sarkoma Virus-) Promotor (Makrides, 9-26 in: Makrides (Hrsg.), Gene Transfer and Expression in Mammalian Cells, Elsevier, Amsterdam, 2003) oder SV40- (Simian Virus 40-) Promotor (Makrides, 9-26 in: Makrides (Hrsg.), Gene Transfer and Expression in Mammalian Cells, Elsevier, Amsterdam, 2003) dienen. Als Polyadenylierungsstellen können z.B. die Polyadenylierungssequenzen des SV40 Large T-Antigens (Genbank Acc. Nr. J02400) oder des humanen G-CSF- (Granulozyten-Kolonie-stimulierender Faktor, granulocyte colony stimulating factor) Gens (Mizushima und Nagata, Nucl. Acids Res. 18:5322, 1990) dienen.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft das Polypeptid oder Protein, das unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens erhalten wird.

Das rekombinante Polypetid des erfindungsgemäßen Verfahrens kann ein therapeutisches Protein wie z.B. humanes Alpha 1-Antitrypsin oder Wachstumsfaktoren wie Erythropoietin oder Interleukin-2 sein. Humanes Alpha 1-Antitrypsin (hAAT) ist ein Proteinase-Inhibitor, der Elastase und andere Proteinasen inhibiert und bei erblichem hAAT-Mangel, der zu schweren Lungen- und Leberschädigungen führt, therapeutisch wirksam ist. Bei Erythropoietin handelt es sich um einen wichtigen Wachstumsfaktor für Erythrozyten (rote Blutkörperchen), der bei Anämie sowie bei Transplantationspatienten blutbildende Wirkung hat. Interleukin-2 (Il-2) zählt zu den zellulären Botenstoffen des Immunsystems und hat große Bedeutung bei der Aktivierung der zellulären Immunantwort beispielsweise bei Tumorerkrankungen. Zu den therapeutisch wirksamen Polypeptiden zählen auch Blutgerinnungsfaktoren wie z.B. Faktor VIII und Faktor IX, die bei Hämophilie-Patienten mit Gerinnungsstörungen eingesetzt werden. Das rekombinante Polypeptid des erfindungsgemäßen Verfahrens kann ein Hormon sein. Biotechnologisch hergestellte Hormone werden in der Substitutionstherapie bei Patienten mit hormonellen Störungen verwendet. Beispiele sind das Blutzuckersenkende Hormon Insulin, auf das viele Diabetes mellitus-Patienten angewiesen sind, Somatotropin (Wachstumshormon) für die Behandlung

von Zwergwüchsigkeit, und gonadotrope Faktoren wie Follikelstimulierendes Hormon (FSH) oder Luteinisierendes Hormon (LH) für die Behandlung von Fertilitätsstörungen. Das rekombinante Polypeptid kann weiterhin ein Enzym sein, das intrazellulär oder im Kulturüberstand gleichzeitig exprimierte andere rekombinante Polypeptide posttranslational modifiziert, z.B. an der Glykosylierung beteiligtes Enzym. Die in der erfindungsgemäßen permanenten humanen Zelllinie exprimierten Genprodukte E1A, E1B und pIX, sowie das große T-Antigen von SV40 und das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1) zählen nicht zu dem zu produzierenden gewünschten Polypeptid.

Das rekombinante Polypetid des erfindungsgemäßen Verfahrens kann ein rekombinanter Antikörper sein, der zu therapeutischen oder diagnostischen Zwecken eingesetzt werden kann. Antikörper gegen den Tumor-Nekrose-Faktor alpha (TNF-α) werden bei Patienten mit rheumatoider Arthritis, Antikörper gegen den zellulären Rezeptor des Epidermalen Wachstumsfaktors (EGFR) bei Krebspatienten eingesetzt. Für diagnostische Zwecke eingesetzte Antikörper können beispielsweise Bestandteile von kommerziellen Diagnose-Kits sein, die auf Verfahren wie Enzym-gekoppelte Immun-Adsorptions-Tests (Enzyme-linked Immuno Sorbent Assay, ELISA) oder radioaktiven Immun-Adsorptions-Tests (Radio Immuno Sorbent Assay, RIA) beruhen. Die Antikörper dienen in diesen Testverfahren zum Nachweis der Antigene von Infektionserregern, wie beispielsweise dem humanen Hepatitis B-Virus.

Antikörper oder Immunglobuline (Ig) setzen sich aus einer schweren und einer leichten Kette zusammen, die jeweils aus variablen und konstanten Regionen oder Domänen bestehen. Die Nukleinsäuresequenzen der transfizierten Nukleinsäuremoleküle zur Expression eines Antikörpers können zwei getrennte Expressionskassetten enthalten, von denen die eine die leichte Kette, die andere die schwere Kette des Immunglobulinmoleküls kodiert. Nach Expression beider Ketten in der erfindungsgemäßen Zelle lagern sich diese zum aktiven Antikörpermolekül zusammen. Die Expressionskassetten der beiden Ketten können dabei auf getrennten oder auf demselben Nukleinsäuremolekül liegen. Die kodierenden Sequenzen für die leichte und die schwere Kette können aber auch innerhalb derselben Expressionskassette liegen und durch eine IRES-Sequenz (internal ribosome entry site, interne Ribosomenbindungsstelle) getrennt werden, die eine Expression sowohl der schweren als auch der leichten Kette gewährleistet. Die kodierenden Sequenzen für die leichte und die schwere Kette können prinzipiell auch innerhalb derselben Expressionskassette liegen und

durch eine Sequenz getrennt werden, die eine enzymatische Spaltstelle für eine Proteinase (z.B. Thrombin) kodiert, welche dann in der Zelle gleichzeitig exprimiert wird und das Vorläufer-Polypeptid aus Leicht- und Schwerkettensequenz in aktive leichte und schwere Kette spaltet.

Rekombinante Antikörper, die von der Nukleinsäuresequenz in der erfindungsgemäßen Zelle kodiert werden, können auch aus Fragmenten eines Antikörpers bestehen anstelle der kompletten leichten und schweren Kette. Sogenannte Einzelketten-Antikörper (scFv, single chain variable fragments) bestehen aus den variable Domänen einer schweren und einer leichten Kette, die durch eine Aminosäuresequenz (einen sog. Linker) verbunden werden, die eine freie Beweglichkeit beider Domänen gewährleistet. Durch intramolekulare Zusammenlagerung beider Domänen entsteht eine antigenbindende Struktur, die dem variablen Bereich eines Immunglobulinmoleküls entspricht. Bispezifische Einzelketten-Antikörper (bis-scFv) bestehen aus zwei solchen Einzelketten-Anordnungen aus den variablen Domänen einer schweren und einer leichten Kette, die ihrerseits wiederum durch eine verbindende Sequenz zusammenhängen und gegeneinander beweglich sind; solche Moleküle können an zwei antigene Bindungsstellen (Epitope) gleichzeitig binden und dadurch zwei molekulare Strukturen nicht-kovalent verbinden. Bispezifische Diabodies bestehen aus zwei getrennt exprimierten Einzelketten, die jeweils variable Domänen einer leichten und einer schweren Kette, getrennt nur durch einen sehr kurzen oder ganz ohne Linker, enthalten. Der kurze oder fehlende Linker verhindert die intramolekulare Zusammenlagerung, durch intermolekulare Zusammenlagerung einer variablen schweren und leichten Domäne entsteht wiederum ein aktives Molekül mit zwei Bindungsvalenzen.

Das von dem im vorliegenden Verfahren transfizierte Nukleinsäuremolekül kodierte rekombinante Polypetid kann ein virales, bakterielles oder parasitäres Protein sein, das für eine Verwendung als prophylaktische oder therapeutische Impfstoffe (Vakzine) produziert werden soll. Dabei kann es sich sowohl um ein Strukturpolypeptid als auch um ein regulatorisch oder enzymatisch aktives Polypeptid von Viren, Bakterien oder Parasiten handeln. Ein virales Protein kann z.B. das Hepatitis B-Virus Oberflächen-Antigen (HBV Surface Antigen) oder das Strukturprotein L1 von humanen Papillomviren sein. Ein bakterielles Protein, das nach Expression in Produktionszelllinien für die Impfstoffherstellung in Frage kommt, sind z.B. Enterotoxin-Untereinheiten von enterotoxinogenen Escherichia coli (ETEC) oder Transferrin-bindende Proteine (Transferrin binding proteins, Tbp A und B) von

Neisseria gonorrhoeae. Ein Polypeptid von Parasiten, das von dem im vorliegenden Verfahren transfizierte Nukleinsäuremolekül kodiert werden könnte, ist z.B. das Merozoiten-Oberflächenprotein (Merozoite Surface Protein, MSP) des Malariaerregers Plasmodium falciparum oder Glutathion S-transferase (GST) von Schistosoma japonicum.

Das von dem im vorliegenden Verfahren transfizierte Nukleinsäuremolekül kodierte rekombinante Polypetid kann außerdem ein virales Protein sein, das in Zelllinien eine Produktion von rekombinanten viralen Gentransfer-Vektoren erlaubt. Dieses virale auch Komplementationsfaktor genannte Protein wird in der Zelllinie exprimiert und ist die für die Produktion der Gentransfer-Vektoren notwendige enzymatische oder strukturelle Komponente, die nicht auf dem Nukleinsäuremolekül des Gentransfer-Vektors kodiert wird. In solchen Gentransfer-Vektoren sind in der Regel aus Sicherheitsgründen bestimmte virale Genfunktionen deletiert. Zu den Gentransfer-Vektoren, deren Komplementationsfaktoren durch mit dem beschriebenen Verfahren eingebrachte Transgene kodiert werden können, gehören beispielsweise Vektoren, die auf Adenovirus, Adenovirus-Assoziiertem Virus (AAV), Retro- oder Lentivirus, oder Herpesvirus basieren. Der in der Zelllinie exprimierte Komplementationsfaktor kann auch deletierte oder rekombinante Viren bei ihrer Produktion komplementieren, die kein zu transferierendes Gen enthalten und damit nicht als Gentransfer-Vektoren fungieren, sondern z.B. als Impfstoff verwendet werden.

Das mit dem vorliegenden Verfahren transient exprimierte Polypeptid kann ferner ein Rezeptorpolypeptid sein, das insbesondere auf der Oberfläche der Zelle lokalisiert ist und für die Infektion der Zelle durch ein Virus bzw. die Transduktion der Zelle durch einen viralen Gentransfer-Vektor verantwortlich ist. Als viraler Rezeptor für den initialen Schritt der Infektion von Zellen mit dem Adenovirus Serotyp 2 oder 5, von denen die meisten konventionellen adenoviralen Vektoren abgeleitet sind, wurde der sog. Coxsackie- und Adenovirus-Rezeptor, CAR, identifiziert (Bergelson et al., Science 275:1320-1323, 1997). Die hinreichende Expression von CAR auf der Oberfläche ist eine Voraussetzung dafür, dass sich eine Zelle als Produktionszelle für adenovirale Gentransfer-Vektoren eignet. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das rekombinante Polypeptid der Coxsackie- und Adenovirus-Rezeptor (CAR). Die Überexpression des Rezeptorpolypeptids kann die Infizierbarkeit und damit die Produktionseffizienz dieser Zellen hinsichtlich adenoviraler Vektoren deutlich verbessern. Ferner kann das Nukleinsäuremolekül außer CAR sekundäre Rezeptoren oder Internalisierungsrezeptoren kodieren, wie z.B. bestimmte Integrine, die die

Aufnahme des Virus bzw. Gentransfer-Vektors in die Zelle vermitteln und deren zusätzliche Expression bei der Herstellung von Produktionszellen für adenovirale Vektoren sinnvoll sind.

Das beschriebene Verfahren kann unter anderem zur Produktion therapeutischer Polypeptide, Blutgerinnungs- und Wachstumsfaktoren, Hormone und Antikörper sowie viraler, bakterieller oder parasitärer Polypeptide zur Verwendung als Impfstoff verwendet werden. Ferner sind die erfindungsgemäßen Zellen zur Produktion von diagnostisch relevanten Proteinen verwendbar, wie z.B. virale, bakterielle oder parasitäre Antigene oder entsprechende spezifische Antikörper. Ferner sind die erfindungsgemäßen Zellen zur Produktion von technisch oder industriell relevanten Proteinen verwendbar, z.B. von Enzymen zur Katalyse technischer Syntheseprozess oder zum Abbau von Schadstoffen. Die erfindungsgemäßen Zellen können ein oder auch mehrere verschiedene rekombinante Polypeptide exprimieren. Die Anzahl der exprimierbaren Polypeptide hängt davon ab, wie viele verschiedene Nukleinsäuresequenzen kodierend für die rekombinanten Polypeptide mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in die Zellen transient transfiziert werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner die Verwendung der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten permanenten humanen Zelllinien, insbesondere permanente humane Amniozyten-Zelllinien zur Herstellung eines Polypeptids oder Proteins.

Die folgenden Beispiele erläutern die Erfindung und sind nicht als einschränkend aufzufassen. Sofern nicht anders angegeben, wurden molekularbiologische Standardmethoden verwendet, wie z.B. von Sambrook et al., 1989, Molecular cloning: A Laboratory Manual 2. Auflage, Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, New York, beschrieben.

1. Klonierungen

a. Plasmide zur Transformation primärer Amniozyten: pSTK146, pGS119, pGS122

Plasmid pSTK146 wurde detailliert in EP 1 230 354 B1 beschrieben und umfasst den murinen Phosphoglyceratkinase (pgk) Promotor, Adenovirus Serotyp 5 (Ad5)-Sequenzen Nukleotid (nt.) 505 bis 3522 und das Spleiß- und Polyadenylierungssignal von SV40. Die adenoviralen Sequenzen in pSTK146 umfassen die kodierende E1A und E1B-Region, wobei die Expression von E1A vom pgk Promoter aus reguliert wird.

Plasmid pGS119 wurde ausführlich in WO 2007/056994 beschrieben und enthält den murinen pgk Promoter, Ad5 Sequenzen nt. 505-3522 (umfassend die E1A und E1B-Region), das

Spleiß- und Polyadenlierungssignal von SV40, gefolgt von der pIX-Region von Ad5 nt. 3485-4079.

Plasmid pGS122 wurde ausführlich in WO 2007/056994 beschrieben und enthält die adenoviralen Sequenzen nt. 1-4344, umfassend die E1A, E1B und pIX Regionen inklusive der jeweiligen regulatorischen Promoter- und Polyadenylierungssequenzen. Die adenoviralen Sequenzen in pGS122 werden flankiert von PmeI-Schnittstellen.

b. T-Antigen-Expressionsplasmide: pGS158, pGS159, pGS161

Plasmide pGS158, pGS159 und pGS161 enthalten alle die Expressionskassette für T-Antigen von SV40 (SEQ ID NO:4), flankiert von einem Intron aus SV40 (SEQ ID NO:6) und einer Polyadenylierungsstelle (SEQ ID NO:7). Zusätzlich enthält pGS158 den CAG-Promotor (Hybridpromotor bestehend aus dem CMV-Enhancer und dem Huhn β-Aktin-Promotor) (Niwa et al., Gene 108:193-199, 1991), pGS159 den RSV-Promotor (Promotor aus Rous Sarcomavirus) (Genbank Acc. Nr.DQ075935) und pGS161 den CMV-Promotor (früher Promotor des humanen Cytomegalie-Virus) (SEQ ID NO:5). Zur Generierung stabiler Zelllinien enthalten Plasmide pGS158, pGS159 und pGS161 eine Blasticidin-Expressionskassette mit dem Ubiquitinpromotor (pUB/Bsd, Invitrogen #V512-20).

In einem ersten Schritt wurde ein 2,6 kb–Fragment, das die T-Antigen-kodierenden Sequenzen enthält, in das Plasmid pGS140 eingefügt. Das Plasmid pGS140 enthält den humanen CMV-Promotor (SEQ ID NO:5), eine Intron-Region aus SV40 mit Spleißdonor/Spleißakzeptorstelle (SEQ ID NO:6), eine singuläre NotI-Restriktionsschnittstelle und eine PolyA-Sequenz aus SV40 (SEQ ID NO:7). Zum Einfügen des T-Antigen-Fragments wurde pGS140 mit NotI linearisiert, der 5'-Überhang aufgefüllt und mit dem isolierten Fragment ligiert. Das so entstandene Plasmid erhielt die Bezeichnung pGS149.

Für Plasmid pGS158 wurde pGS149 mit XbaI verdaut und ein ca. 3-kb-Fragment, enthaltend die Intronsequenz, T-Antigen und PolyA-Sequenz, isoliert. Dieses Fragment wurde in die NotI-Schnittstelle (5'-Überhang aufgefüllt) von pGS152 einfügt. pGS152 entstand durch Einfügen eines 1.1 kb großen CAG-Promotor-Fragments (Niwa et al., Gene 108:193-199, 1991) in die EcoRV-Schnittstelle von pUB/Bsd.

Für Plasmid pGS159 wurde das T-Antigen-enthaltende 3-kb-große XbaI-Fragment aus pGS149 in die aufgefüllte NotI-Schnittstelle von pGS153 eingefügt. pGS153 enthält ein ca. 0,6 kb großes RSV-Promotor-Fragment, eingefügt in die EcoRV-Schnittstelle von pUB/Bsd.

Für Plasmid pGS161 wurde pGS149 mit SphI verdaut, die 3'-Überhänge aufgefüllt, das 3.6-kb-Fragment, enthaltend den CMV-Promotor, das SV40-Intron, die T-Antigen-Sequenz und das PolyA, isoliert und in die EcoRV-Schnittstelle von pUB/Bsd eingefügt.

c. hAAT-Expressionsplasmide: pGS116, pGS151

Plasmid pGS116 wurde detailliert in EP1948789 beschrieben und enthält den humanen CMV-Promotor gefolgt von einer SV40-Spleißdonor/Spleißakzeptorstelle, der hAAT-cDNA (SEQ ID NO:12) und der SV40-Polyadenylierungsstelle.
Das Plasmid pGS151 (Abb. 2b) enthält diese hAAT-Expressionskassette und den Startpunkt der DNA-Replikation (*origin of replication*, ori) aus SV40. Mit Hilfe von SV40-DNA und der Primer ori 1 (CCGGAATTCTTTGCAAAAGCCTAGGCCTC)(SEQ ID NO:9) und ori 2 (CCGGAATTCTGAGGCGGAAAGAACCAGCT)(SEQ ID NO:10) wurden die SV40-Sequenzen durch Polymerasekettenreaktion (PCR) amplifiziert, mit EcoRI verdaut (je eine EcoRI-Schnittstelle lokalisiert in den Primern) und in die EcoRI-Schnittstelle von pGS116 eingefügt.

d. Epo-Expressionsplasmide: pGS177

Plasmid pGS127 wurde detailliert in EP1948789 beschrieben und enthält den humanen CMV-Promotor gefolgt von einer SV40-Spleißdonor/Spleißakzeptorstelle, der cDNA für das humane Erythropoietin (Epo) und der SV40-Polyadenylierungsstelle.
Für Plasmid pGS177 wurde das ori-Fragment aus SV40 wie oben beschrieben mit den Primern ori 1 und ori 2 amplifiziert und in pGS127 eingefügt.

2. Überprüfung der Konstrukte

a. Sequenzanalyse

Die Vollständigkeit aller oben beschriebenen Plasmide wurde durch Restriktionsverdau überprüft. Weiter wurde die korrekte Sequenz und Orientierung des SV40 ori-Fragments in pGS151 und pGS177 durch Sequenzanalyse bestätigt. Die adenoviralen Sequenzen in pSTK146, pGS119 und pGS122 wurden mittels Sequenzanalyse ermittelt und stimmten vollständig mit der Ad5 Wildtyp-Sequenz überein.

b. Überprüfung der transienten Expression

Plasmide pSTK146, pGS119 und pGS122 wurden in HeLa-Zellen transfiziert und die Expression der E1A- und E1B-Proteine mittels Western Blot unter Verwendung von

monoklonalen Antikörpern analysiert (Merck Bioscience). Plasmide pGS158, pGS159, pGS161 wurden in HEK293-Zellen transfiziert und die Expression des T-Antigens mittels Western Blot und eines monoklonalen Antikörpers (Abcam, Cambridge, UK) nachgewiesen. Plasmide pGS116 und pGS151 wurden in CAP-Zellen transfiziert und die Expression und Sekretion von humanem Alpha1-Antitrypsin (hAAT) in den Kulturüberstand mittels ELISA (siehe 6.) nachgewiesen.
Ebenso wurden Plasmide pGS127 und pGS177 in CAP-Zellen transfiziert und die Expression von humanem Epo mittels ELISA nachgewiesen (siehe 6.).

3. Kultivierung von Zellen

a. Zelllinien

Transformierte Amniozyten- (CAP- und CAP-T–) Zellen wurden in 293SFMII Medium (Invitrogen #11686-029), 0,5% Antimykotikum/Antibiotikum (Invitrogen #15240-062), 4 mM L-Glutamin (Invitrogen #25030-024) bei 37°C, 95% Luftfeuchtigkeit, 8% CO_2 kultiviert. Das Kultivierungsmedium von CAP-T-Zellen enthielt zusätzlich noch 5 µg/ml Blasticidin (Invitrogen # R210-01). Die Zellen wurden üblicherweise mit einer Startdichte von 2-4 x 10^5 Zellen/ml in einem Volumen von 12 ml in einer Schüttelflasche angeimpft und im Schüttelinkubator bei 100 rpm für 3-4 Tage kultiviert. Bei einer Dichte von 1-2 x10^6 Zellen/ml wurden die Zellen durch Zentrifugation geerntet und mit oben beschriebener Startdichte in frischem Medium weiter kultiviert.
HEK293-, HEK293-T- (ATCC# CRL-11268) und HeLa Zellen wurden in Dulbecco's Modified Eagles Medium (Advanced D-MEM, Invitrogen #12491-015) mit 10% fötalem Kälberserum adherent in Zellkulturschalen kultiviert. HEK293-T-Zellen wurden schrittweise an serum-freies Suspensionswachstum in 293-SFMII Medium adaptiert und in Schüttelflaschen bei 100 rpm, 37°C, 95% Luftfeuchtigkeit und 8% CO_2 kultiviert.

b. Primäre Amniozyten

Primäre Amniozyten wurden, entsprechenden Routinemethoden folgend, im Rahmen einer Fruchtwasserpunktion gewonnen. Von dieser Punktion wurden 1-2 ml mit 5 ml Ham's F10 Medium (Invitrogen #31550-023), 10% fötalem Kälberserum, 2% Ultroser G (CytoGen GmbH), 1x Antibiotikum/Antimycotikum (Invitrogen #15240-062), bei 37°C, 95% Luftfuchtigkeit und 5% CO_2 in 6-cm-Primaria Zellkulturschalen (Falcon) kultiviert. Nach 4-6 Tagen begannen die Amniozyten, adhärent zu werden, und es wurden 3 ml frisches Medium plus Zusätze (siehe vorhergehenden Satz) zugegeben. Waren die Zellen vollständig adhärent,

wurde das Medium abgenommen und durch 5 ml frisches Medium plus Zusätze ersetzt. Für die weiteren Passagen wurden die konfluenten Zellen mit PBS gewaschen, mit Trypsin (TrypleSelect, Invitrogen #12563011) abgelöst und in 10 bzw. 25 ml frischem Medium plus Zusätze auf 10-cm- bzw.15-cm-Schalen übertragen.

4. Transformation von primären Amniozyten

a. Transfektion

Kultivierte primäre Amnioyzten (siehe 3b) wurden durch Transfektion jeweils mit den Plasmiden pSTK146, pGS119 oder pGS122 transformiert. Vorab wurden die jeweiligen Plasmide mittels Verdau mit geeigneten Restriktionsenzymen (pSTK146, pGS119: ScaI; pGS122: PmeI) linearisiert. Vor der Transfektion wurden die Amniozyten schrittweise an Opti-Pro Medium (Invitrogen #12309-019) mit 2% Ultroser adaptiert. Dazu wurden die Zellen immer nach jeweils 2-3 Tagen mit frischem Ham's F10 Medium (mit Zusätzen siehe 3 b) plus Opti-Pro Medium (mit 2 % Ultroser) im Verhältnis 75:25%, 50:50%, 25:75% und 0:100% versetzt. Für die Transfektion wurden die Zellen einer ca. 80% konfluenten 15-cm-Schale auf sechs 6-cm-Schalen verteilt, was einer Zellzahl von $5\text{-}7x10^5$ Zellen pro Schale entsprach. Am nächsten Tag wurden die Zellen auf 5 Schalen mit je 2 µg linearisiertem pSTK146, pGS119 oder pGS122 unter Verwendung des Transfektionsreagenz Effectene (Qiagen) nach Angaben des Herstellers transfiziert. Eine Schale wurde untransfiziert als Kontrolle weiter kultiviert. Am nächsten Tag wurden die Zellen mit PBS gewaschen, mit TrypleSelect abgelöst und auf je eine 15-cm-Schale übertragen. Die Zellen wurden für weitere 10-15 Tage kultiviert, wobei alle 3-4 Tage das Medium durch frisches Medium ersetzt wurde. Während dieser Zeit wurde der Zusatz von Ultroser auf 1% gesenkt. Nach ca. 10-15 Tagen waren die Zellen konfluent und wurden auf je zwei 15-cm-Schalen, wie oben beschrieben, umgesetzt.

b. Isolierung transformierter Zellklone

Wenige Wochen nach der Transfektion waren bei allen Transfektionen klonale Zellinseln zu beobachten, die sich morphologisch deutlich von den nicht-transformierten Amniozyten unterschieden. Diese Zellinseln wurden gepickt und auf 24-well-Schalen übertragen (entspricht Passage 1). Die Zellen wurden weiter vermehrt und erst auf 6-cm-, danach auf 15-cm-Schalen übertragen. Die Expression der E1-Proteine in den jeweiligen klonalen Zelllinien wurden in Western Blot Analysen unter Verwendung monoklonaler Antikörper nachgewiesen (siehe 2b).

Die Herstellung von T-Antigen-exprimierenden Zelllinien basierend auf transformierten Amniozytenzelllinien ist nachfolgend exemplarisch für eine, durch Transfektion mit pGS119 entstandene Zelllinie (nachfolgend CAP-Zelllinie genannt) beschrieben. Nach der Isolierung und Expansion der klonalen Zellinseln wurden aus den Zellklonen durch Einzelzellklonierung im "limited-dilution-Verfahren" genetisch einheitliche Linien hergestellt. Zusammengefasst wurden dazu eine Zelle des zu klonierenden Klons in eine Vertiefung einer 96-well Platte plattiert und mikroskopisch im Verlauf der kommenden Tage die tatsächliche Expansion von nur einer Zelle kontrolliert. Aus einzelnen Zellen entstandene Linien wurden schrittweise bis zu 15-cm Schalen expandiert. Durch schrittweise Verdünnung des Kultivierungsmediums Opti-Pro/1% Ultroser mit 293SFMII Medium wurden die Zellen an Wachstum in Suspension in serum-freiem Medium adaptiert. Die einzelnen Zelllinien wurden auf stabile und transiente Proteinexpression und hohe Wachstumsdichte untersucht, ein Klon mit den besten Eigenschaften wurde ausgewählt und nachfolgend weiterverwendet.

5. Herstellung von T-Antigen-exprimierenden Zellpools

Je $1x10^7$ CAP-Zellen (entstanden durch Transfektion von primären Amniozyten mit Plasmid pGS119, adaptiert and Suspensionswachstum im serum-freiem Medium) wurden mit je 5 µg linearisierter pGS158-, pGS159- und pGS161-Plasmid-DNA transfiziert und im Schüttelkolben unter den oben beschriebenen Bedingungen kultiviert. Zur Selektion stabil transfizierter Zellen wurden 48h nach Transfektion 5µg/ml Blasticidin zugegeben und die Zellen weiter kultiviert, bis nach ca. 3-4 Wochen stabil wachsende Zellpools entstanden. Die Zellpools erhielten die Bezeichnung Z582 (Transfektion mit pGS158, T-Antigen exprimiert vom CAG-Promotor), Z583 (Transfektion mit pGS159, T-Antigen exprimiert vom RSV-Promotor) und Z597 (Transfektion mit pGS161, T-Antigen exprimiert vom CMV-Promotor). Da unbekannt ist, ob eine erhöhte T-Antigen-Konzentration eventuell toxisch für CAP-Zellen ist, wurde versucht, T-Antigen mit Hilfe unterschiedlich starker Promotoren zu exprimieren. Es konnte gezeigt werden, dass die Expression eines Referenzproteins in CAP-Zellen am höchsten ausfällt bei der Verwendung des CMV-Promotors, gering schwächer mit dem CAG-Promotor und deutlich schwächer mit dem RSV-Promotor. Mit allen drei Promotoren konnten stabil wachsende Zellpools generiert werden und alle drei Zellpools exprimieren intrazelluläres T-Antigen.

6. Transiente Proteinexpression in CAP- und CAP-T-Zellen

Das hier verwendete 359-bp ori-Fragment enthält gegenüber dem 63 bp langen minimalen ori zusätzlich zu dieser „Core"-Sequenz noch die 21-bp- und 72-bp-Wiederholungssequenzen (SEQ ID NO:11). Diese beiden Wiederholungssequenzen sind zwar hauptsächlich wichtig für die Funktion des mit dem ori überlappenden Promotors, es gibt jedoch Hinweise, dass sie auch die SV40-DNA-Replikation verstärken (Chandrasekharappa and Subramanian, J. Virol. 61, 2973-2980, 1987).

Um zu testen, ob die Konzentration an T-Antigen in der Zelle einen Einfluss auf die Expression eines Referenzproteins hat, wurden drei Zellpools Z582, Z583 und Z597 getestet, die T-Antigen unter unterschiedlich starken Promotoren exprimieren, und mit der transienten Expression in CAP-Zellen, die kein T-Antigen exprimieren, verglichen. Dazu wurden je $1x10^7$ Zellen mit Hilfe der Nucleofector Technologie (Amaxa/Lonza, Programm X-001, Puffer V) mit dem zirkulären Plasmid pGS151 transfiziert und in einem Startvolumen von 12 ml kultiviert. Drei und sechs Tage nach Transfektion wurde das Medium ausgetauscht, wobei am Tag 6 auch das Volumen auf 15 ml erhöht wurde. Ab dem dritten bis einschließlich am siebten Tag nach Transfektion und am neunten Tag nach Transfektion wurde jeweils ein Aliquot abgenommen, die Zellzahl bestimmt und die Expression von hAAT mit Hilfe der ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay)-Methode unter Verwendung von polyklonalen Anti-hAAT-Antikörpern (ungekoppelt und HRP-gekoppelt; ICN Biomedicals) bestimmt. Als Kontrolle wurde aus humanem Plasma gereinigtes hAAT (ICN Biomedicals) verwendet.

Das Ergebnis dieses Experiments ist graphisch in Fig. 3 dargestellt. In allen CAP-T-Zellpools wurde eine höhere transiente Expression erzielt verglichen mit den CAP-Zellen. Die transiente Expression in Z582 liegt 8-fach, in Z583 25-fach und in Z597 70-fach über der von CAP Zellen. Auch ein zweiter CAP-T-Zellpool mit T-Antigen-Expression vom CMV-Promotor aus ergab eine vergleichbar hohe Expression wie mit Z597.

Diese Daten zeigen, dass sowohl die permanente T-Antigen-Expression in CAP-Zellen als auch die Höhe der T-Antigen-Expression einen Einfluss auf die Höhe der transienten Expression hat.

In einem weiteren Experiment wurden die transienten Expressionshöhen von hAAT in dem Zellpool Z597 nach transienter Transfektion des Plasmids pGS116 bzw. pGS151 bestimmt. Diese beiden Plasmide unterscheiden sich nur durch die Anwesenheit des SV40-ori-Fragmentes in pGS151. Die Transfektion und quantitative Analyse von hAAT wurden wie oben beschrieben durchgeführt, wobei sowohl die Höhe der Expression von hAAT als auch

die Entwicklung der Lebendzellzahl über den Versuchszeitraum von 9 Tagen bestimmt wurde. Das Ergebnis dieses Versuchs ist in Fig. 4 graphisch dargestellt. Die Anwesenheit des SV40-ori-Fragments im Expressionsplasmid führt zu einer 30-fach erhöhten transienten Expression. Insgesamt konnte durch Transfektion von $1x10^7$ CAP-T Zellen innerhalb von 9 Tagen 2,5 mg hAAT in 40 ml Volumen exprimiert werden, was einer Expressionsleistung von ca. 60 mg/L und bis zu 40 pg/Zelle/Tag entspricht. Etwa 3 Tage nach Transfektion setzt das Zellwachstum ein, die Vitalität der Zellen bleibt weiter über den gesamten Versuchszeitraum über 80%.

Um zu zeigen, dass diese transiente Expressionsleistung nicht spezifisch ist für hAAT, wurde ein weiteres hoch-glykosyliertes Protein Erythropoietin (Epo) in CAP-T Zellen transient exprimiert. Wie für hAAT beschrieben, wurden $1x10^7$ CAP-T Zellen aus dem Z597-Zellpool mit den Plasmiden pGS177 (enthält die Epo-Expressionskassette und das SV40-ori-Fragment) transfiziert und Epo im Zellkulturüberstand mittels ELISA (R&D Systems, Quantikine IVD, Human Epo Immunoassay, DEP00) quantifiziert. Über einen Versuchszeitraum von 7 Tagen konnten 0,73 mg Epo exprimiert werden bei einer Expressionsleistung von 32 mg/L.

7. Vergleich mit transienter Expression in anderen Zellsystemen

Eine bereits früher beschriebene humane Zelllinie, die sog. HEK293-T-Zelllinie, exprimiert stabil das SV40 T-Antigen und basiert auf der humanen, Adenovirus-transformierten HEK293-Zelllinie (DuBridge et al., Mol. Cell. Biol. 7, 379-387, 1987). Vergleichbar mit Z597, wurden $1x10^7$ HEK293-T-Zellen (serum-freies Medium, Suspensionskultur) mit 5µg zirkulärem Plasmid pGS151 mit Hilfe der Amaxa-Nucleofektor-Technologie nach Angaben des Herstellers (Programm X-001, Puffer V) transfiziert und kultiviert. Das Ergebnis dieses Experiments ist in Fig. 5 graphisch dargestellt. Obwohl die 293-T-Zellzahl am Tag 9 deutlich höher ist als mit CAP-T, ist die transiente Expression in CAP-T gegenüber 293-T ca. 40-fach erhöht.

8. Replikationsassay

In einem Replikationsassy sollte gezeigt werden, ob die Expression von T-Antigen in CAP-T-Zellen zu einer erhöhten Kopienzahl des ori-enthaltenden Expressionsplasmids führt und somit die deutlich erhöhte transiente Proteinexpression erklärt. Dazu wurden Z597- bzw. HEK293-T-Zellen mit den Plasmiden pGS116 bzw. pGS151 transfiziert und wie oben beschrieben kultiviert. Nach 6, 12, 24, 48, 72 und 96 Stunden wurden je $1x10^5$ Zellen entnommen, abzentrifugiert, in PBS aufgenommen und durch Zugabe von gleichem Volumen

0,8 N NaOH lysiert. Die Zelllysate wurden in einer SlotBlot-Apparatur auf eine positiv geladene Nylonmembran (GE Healthcare, Hybond–N+) geblottet. Zur Kontrolle wurden steigende Plasmidmengen pGS116 und pGS151 zu $1x10^5$ Z597-Zellen gegeben, wie oben beschrieben lysiert, und geblottet. Dieser Standard entsprach 1000, 2500, 5000, 10000 und 15000 Kopien pro Zelle. Die DNA wurde durch 30-minütige Inkubation der Membran bei 120°C fixiert und mit Hilfe einer nicht-radioaktiv markierten PCR-Sonde aus der hAAT-cDNA nach Angaben des Herstellers (AlkPhos Direct Labelling and Detection System, GE Healthcare, RPN 3680 und 3682) sichtbar gemacht. Die Kopienzahl in pGS116- und pGS151-transfizierten Zellen wurde anhand der bekannten Konzentration des Standardplasmids quantifiziert. Das Ergebnis dieses Replikationsassays ist in Fig. 6 graphisch dargestellt. Wie erwartet, ist nur pGS151, nicht aber pGS116 in CAP-T Z597 repliziert. Bei gleich bleibender Zellzahl steigt die Kopienzahl von pGS151 von ca. 1500 Kopien/Zelle 6h nach Transfektion auf fast 7000 Kopien/Zelle 72h nach Transfektion an. Demgegenüber bleibt die Kopienzahl von pGS151 in HEK293-T über 96h konstant. Da sich die 293-T-Zellzahl in diesem Zeitraum verdoppelt hat, kann von einer schwachen Replikation von pGS151 in diesen Zellen ausgegangen werden, sie liegt jedoch deutlich unter der Replikationsrate von Z597.

Der Nachweis der Expression von T-Antigen in den Amniozytenzelllinien und HEK293-T-Zellen wurde durch Western Blot-Analyse geführt. Von den drei CAP-T-Zellpools und HEK293-T Zellen wurden je $1x10^6$ Zellen in 50 µl 50 mM Tris/HCL pH8, 140 mM NaCL, 0.5% NP40, 4 mM EDTA, 2 mM EGTA, 0.5 mM PMSF, 5% Glycerol aufgenommen und für 30min auf Eis inkubiert. Das Proteingemisch wurde für 10 min bei 13 000 rpm abzentrifugiert und die Proteinkonzentration im Überstand mit Hilfe eines Proteinbestimmungskits (Coomassie, Bradford, Thermo Life Science# 23200) bestimmt. Auf einem 12%igen SDS-Polyacrylamidgel wurden je 10 µg Protein aufgetrennt, auf eine Nitrozellulosemembran (Hybond ECL, Amersham Pharmacia Biotech) transferiert und mit Hilfe eines T-Antigen-spezifischen Antikörpers (Abcam, Anti-SV40 T-Antigen ab16879) sichtbar gemacht. Mit diesem Experiment konnte gezeigt werden, dass in Z597 mehr T-Antigen exprimiert wird als in den beiden anderen Pools und als in HEK-293-T-Zellen.

9. Transfektion mit Polyethylenimin

Da die oben beschriebene Transfektionsmethode nur bedingt skalierbar ist, wurde ein weiteres Transfektionsreagenz, Polyethylenimin (PEI, Polysciences, #23966), getestet, das vor allem für Transfektionen in großem Maßstab beschrieben wurde. Lineares PEI (MW=25.000)

wurde nach Angaben des Herstellers mit einer Konzentration von 1 mg/ml gelöst und im Verhältnis DNA:PEI=1:3 eingesetzt. Zur Transfektion wurden 10 µg pGS151 mit 30 µg PEI gemischt, 10 min bei Raumtemperatur inkubiert und zu $1x10^7$ CAP-T Z597-Zellen in 6 ml FreeStyle-Medium (Invitrogen #12338-018) gegeben. Nach 5h wurden 6 ml 293-SFMII Medium zugegeben und die Zellen über 7 Tage inkubiert. Drei Tage nach Transfektion wurde das Medium durch 293-SFMII ausgetauscht und aufgrund des starken Wachstums der Zellen wurde das Volumen auf 30 ml erhöht. Das Ergebnis dieses Experiments ist in der Fig. 7 dargestellt. Durch die Transfektion mit PEI wurde eine hohe transiente Proteinexpression in CAP-T erreicht. Allerdings lag die maximale Proteinausbeute ca. 2-fach unter der mit Nukleofektion erzielten Expression. Auffallend ist, dass die Zellen nach Transfektion mit PEI deutlich schneller und stärker wachsen und nach 7 Tagen die ca. 10-fache Zellzahl im Vergleich zu Nukleofektion erreicht wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer permanenten humanen Amniozyten-Zelllinie umfassend:
   a) Transfizieren primärer humaner Amniozyten-Zellen mit einem Nukleinsäuremolekül umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für die adenoviralen Genfunktionen E1A und E1B und
   b) anschließendes Transfizieren der in Schritt a) erhaltenen permanenten humanen Amniozyten-Zellinie mit einem Nukleinsäuremolekül umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1).

2. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Nukleinsäuresequenz kodierend für die adenoviralen Genfunktionen E1A und E1B von einem humanen Adenovirus stammt, insbesondere vom humanen Adenovirus Serotyp 5.

3. Das Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Nukleinsäuresequenz kodierend für die adenoviralen Genfunktionen E1A und E1B die Nukleotide 1 bis 4344, 505 bis 3522 oder die Nukleotide 505 bis 4079 des humanen Adenovirus Serotyp 5 umfasst.

4. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Nukleinsäuresequenz kodierend für das große T-Antigen von SV40 ferner die Nukleinsäuresequenz für einen Promotor ausgewählt aus der Gruppe CMV-Promotor, CAG-Promotor und RSV-Promotor, die Nukleinsäuresequenz für SV40 SD/SA (intron) und die Nukleinsäuresequenz für SV40 polyA umfasst, und die Nukleinsäuresequenz für das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1) ferner die Nukleinsäuresequenz für einen Promotor ausgewählt aus der Gruppe CMV-Promotor, CAG-Promotor und RSV-Promotor, die Nukleinsäuresequenz für SV40 SD/SA (intron) und die Nukleinsäuresequenz für SV40 polyA umfasst.

5. Das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei anstelle des Schritts a) bereits immortalisierte humane Amniozyten-Zellen verwendet werden.

6. Eine permanente humane Amniozyten-Zelllinie erhalten durch das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

7. Verfahren zur transienten Expression rekombinanter Polypeptide und Proteine unter Verwendung einer permanenten humanen Amniozyten-Zelllinie nach Anspruch 6, umfassend die folgenden Schritte

a) Transfizieren der permanenten humanen Amniozyten-Zellline mit einem Nukleinsäuremolekül umfassend eine Nukleinsäuresequenz kodierend für ein gewünschtes rekombinanten Polypeptid oder Protein und eine Erkennungs- oder Bindungsstelle für das große T-Antigen von SV40 oder das Epstein-Barr-Virus (EBV) Nuclear Antigen-1 (EBNA-1),
b) Kultivieren der in Schritt a) erhaltenen transfizierten permanenten humanen Amniozyten-Zelllinie unter Bedingungen, die die Expression des gewünschten rekombinanten Polypeptids oder Proteins erlauben, und anschließend
c) Isolieren des gewünschten rekombinanten Polypeptids oder Proteins aus den Zellen oder aus dem Kulturüberstand.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das rekombinante Polypeptid oder Protein ein Hormon, ein Plasmafaktor, ein Blutgerinnungsfaktor, ein Wachstumsfaktor, ein zellulärer Rezeptor, ein Fusionsprotein, der Coxsackie- und Adenovirus-Rezeptors (CAR), ein Antikörper, ein virales, bakterielles oder parasitäres Antigen, oder Komplementationsfaktoren zur Herstellung von rekombinanten Viren ist.

9. Verwendung der Zellen nach Anspruch 6 für die Herstellung eines Polypeptids oder Proteins.

10. Polypeptid oder Protein, erhältlich nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 7 oder 8.