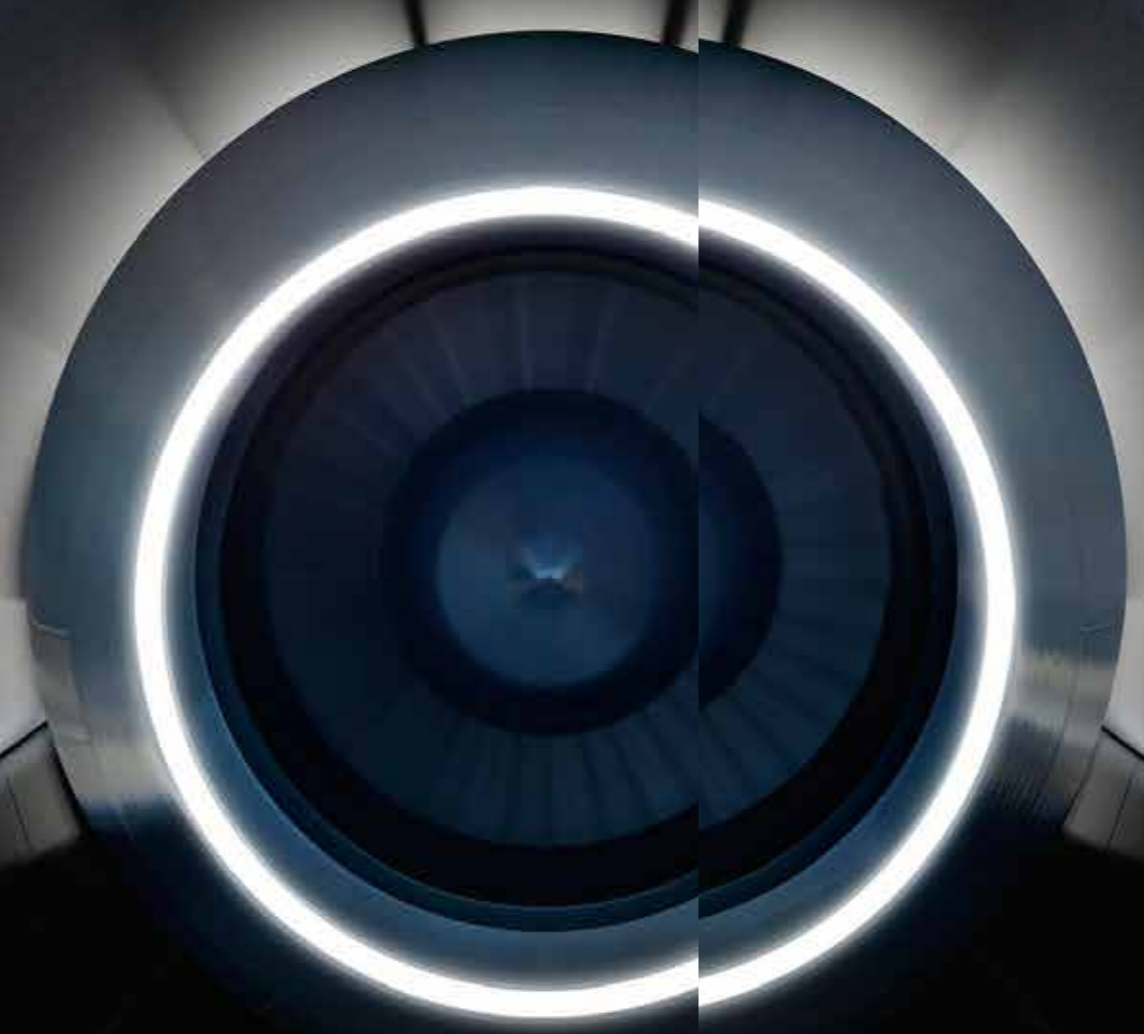
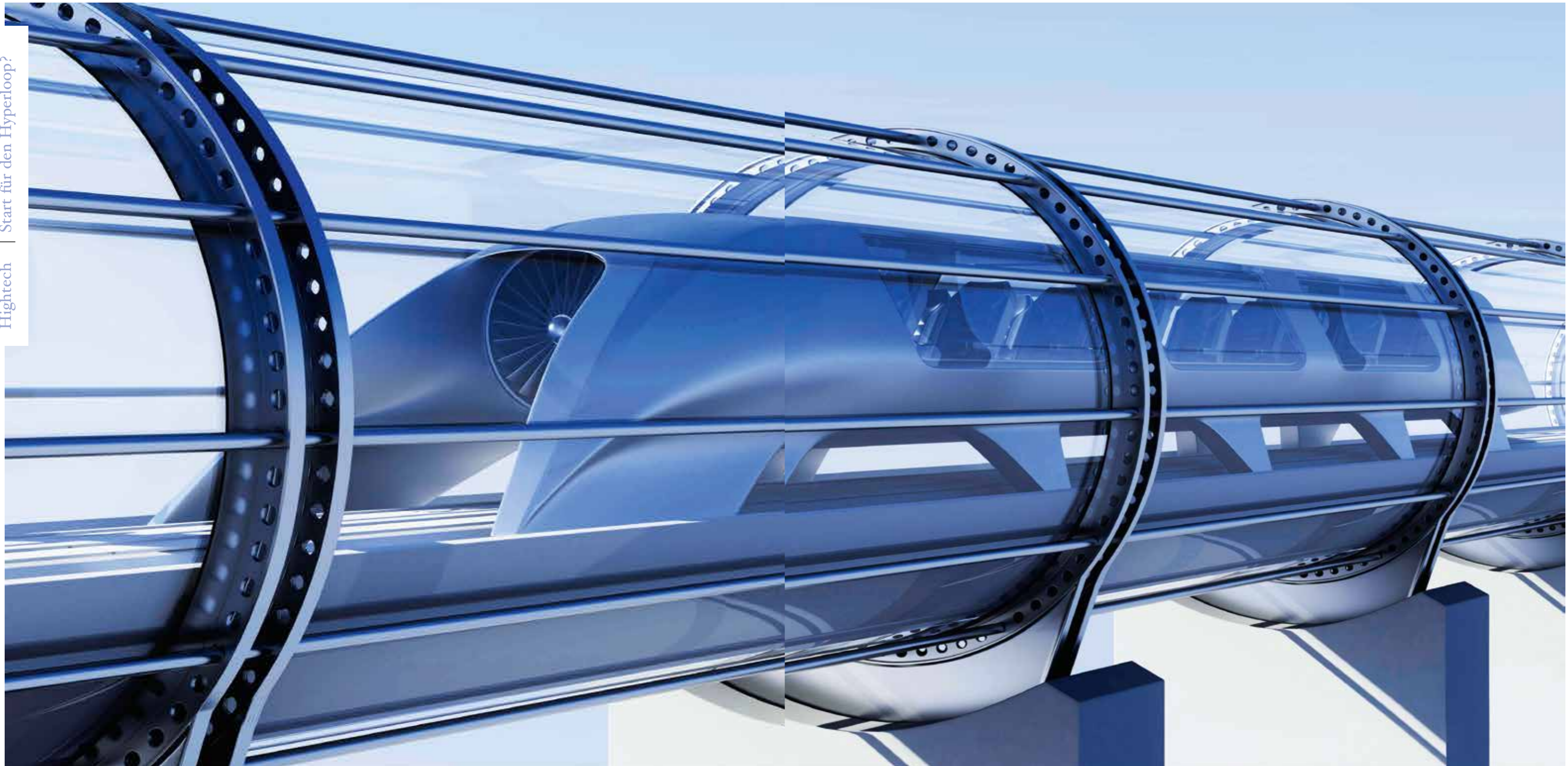


Die fünfte Art der Fortbewegung?

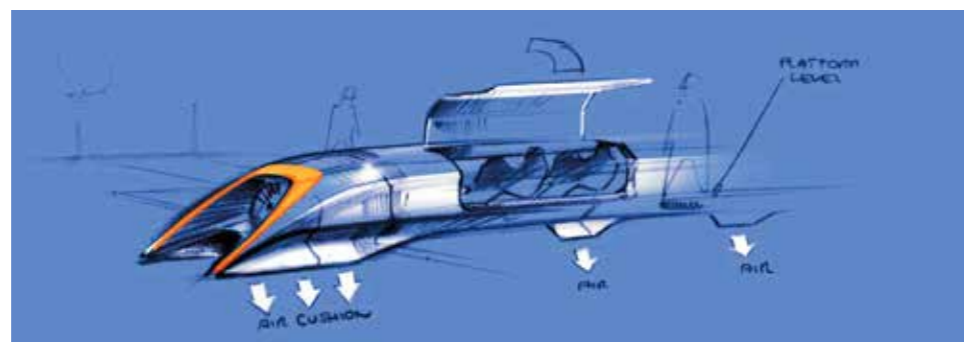
Mit diesem vollmundigen Anspruch tritt derzeit ein neues Verkehrsmittel in den Wettbewerb mit etablierten Transportsystemen, das vereinfacht gesagt das Prinzip der Rohrpost hochskaliert. In China, Südkorea, Frankreich, der Schweiz, den Niederlanden, Deutschland und natürlich den Vereinigten Staaten wird an dem Hochgeschwindigkeitszug „Hyperloop“ geforscht und entwickelt. Jetzt könnte es sein, dass in Kürze der Bau einer ersten Pilotstrecke an den Start geht

Text | Peter Leuten, Fotos | Hyperloop One, Google Street View, SpaceX, Wikipedia





Erste in „Hyperloop Alpha“ veröffentlichte Entwürfe zu einer Testkapsel



Ende des vergangenen Jahres machte eine Nachricht aus der Tech-Welt die Runde: Der Gouverneur des US-Bundestaates Maryland, Larry Hogan, erteilte die Genehmigung, unter dem Baltimore-Washington Parkway zwischen der Baltimore City Line und dem Stadtteil Hanover einen rund 16 Kilometer langen Tunnel für die Hochgeschwindigkeitstrasse des Hyperloop zu bohren. Hyperloop? Das ist der von Elon Musk ins Gespräch gebrachte und inzwischen weltweit gebrauchte Name für ein letztlich vollkommen neues Verkehrsmittel, das

seit Jahren Schlagzeilen macht. Doch der Reihe nach. Zunächst stellt sich doch erst einmal die Frage, was sich hinter diesem Anglizismus überhaupt verbirgt. Wirklich allgemeingültig ist diese Frage allerdings nicht zu beantworten. Denn derzeit ringen noch unterschiedliche Ansätze darum, die Oberhand zu gewinnen. Zumindest so viel ist einstweilen aber klar: Der Name Hyperloop beschreibt die Idee eines Transportsystems, welches im Kern darauf beruht, Fahrzeuge durch eine Röhre verkehren zu lassen, in der ein Teilvakuum herrscht. Das hat den tieferen Sinn, den Luftwiderstand

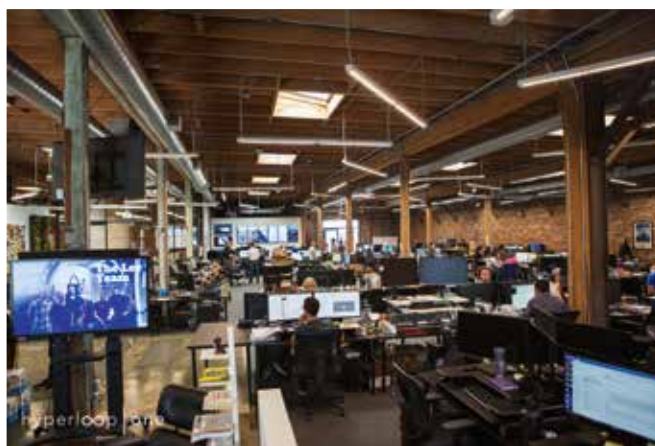


Heißer Favorit: Hyperloop-Strecke zwischen Abu Dhabi und Dubai (mit Burj Khalifa im Hintergrund)

auszutricksen, der praktisch jeder schnelleren Fortbewegung enge Grenzen auferlegt oder aber den Einsatz enormer Energieressourcen verlangt. Bereits die Verdoppelung der Geschwindigkeit eines Fahr- oder Flugzeugs führt zu einer Vervierfachung des Widerstands, den die Luft dieser Bewegung entgegensetzt. Bei einer weiteren Verdoppelung der Geschwindigkeit steigt der Luftwiderstand bereits um den Faktor 16. Abgesehen von anderen Faktoren schnellst ergo in eben demselben Maße auch der Energieverbrauch in die Höhe. Der Hyperloop dagegen soll eine schnelle Fortbewegung mit einem deutlich reduzierten Energieaufwand ermöglichen. Nun ist es keineswegs so, dass die beschriebenen physikalischen Gesetzmäßigkeiten erst jüngst ans Tageslicht gefördert worden wären, sondern sind – ganz im Gegenteil – schon lange bekannt. Insofern ist auch das Konzept zu dieser Fortbewegungsart nicht wirklich neu.

Schon Anfang des 19. Jahrhunderts beschäftigte sich der englische Ingenieur und Erfinder George Medhurst mit den Zusammenhängen von Luftdruck und Fortbewegung

und äußerte in einer 1812 erschienenen Publikation die Idee einer Fortbewegung ohne Luftwiderstand in einer evakuierten Röhre. Die Idee war allerdings so verwegend, dass ihre Realisierung ins Reich der Utopie abgeschoben wurde, und damit letztlich in Vergessenheit geriet. Andere Ideen Medhursts unterdessen, wie etwa per Luftdruck durch einen Tunnel bewegte Eisenbahnwaggons, wurden mehrfach aufgegriffen.



Hyperloop One startet in einer Garage, zieht aber schon im Dezember 2014 in den Los Angeles Innovation Campus.

Die Geburtsstunde des Hyperloop

Im Juli 2012 jedoch kramte Elon Musk, US-Milliardär, Paypal-Mitgründer und unter anderem Inhaber des Weltraumunternehmens SpaceX und des E-Autobauers



SpaceX-Inhaber Elon Musk bei der Hyperloop Pod Competition II in Hawthorne im August 2017

Tesla, die alte Idee der hochskalierten Rohrpost wieder hervor. Auf einem Chat-Event des Online-Tech-Magazins „PandoDaily“ gab er seine Idee für eine von ihm Hyperloop genannte Pendelverbindung von Los Angeles nach San Francisco zum Besten, bei der durch luft-evakuierte Röhren verkehrende Kapseln die rund 570 Kilometer lange Strecke in etwa 35 Minuten zurücklegen sollen. Weitere Details dieser Idee rückt er erst 2013 in Form eines 57-seitigen Whitepapers heraus, das den Titel „Hyperloop Alpha“ trägt, und das er im Juli in San Francisco vorlegt. Eine ganze Truppe von Ingenieuren seiner Unternehmen Tesla Motors und SpaceX hat inzwischen erste Ansätze des grundsätzlichen Designs des Hyperloop ausgearbeitet. Demnach soll der Innendruck der Stahlröhren, in denen die Hyperloop-Kapseln verkehren, bei etwa 0,001 Bar

gehalten werden, einem Tausendstel des Normaldrucks. Die Kapseln selbst sollen dabei auf einem Luftpolster durch die Röhren gleiten, das durch einen in der Spitze der Kapsel eingebauten Turbo-Kompressor erzeugt wird. Der saugt, so sieht das Konzept vor, die in der Röhre verbliebene Restluft an und pumpt sie dann größtenteils unter das Fahrzeug. Dadurch würden einerseits der (durch das Teilvakuum ohnehin drastisch reduzierte) Luftwiderstand weiter dezimiert und andererseits auch Räder überflüssig werden, denn das Gleiten der Hyperloop-Kapseln auf einem Luftpolster verursacht ja eine sehr viel geringere Reibung. Der eigentliche Antrieb soll unterdessen über im Boden der Röhren installierte, asynchrone Langstator-Linearmotoren erfolgen und sich damit die für die Magnetschwebbahn Transrapid entwickelte Technik zunutze machen. In Summe, so Musks Vorstellung, würden damit Reise-

geschwindigkeiten bis knapp oberhalb der bei Normaldruck bestehenden Schallgeschwindigkeit (1.236 Kilometer in der Stunde) möglich – und das wegen des Teilvakuums ohne die Notwendigkeit, die Schallmauer zu durchstoßen. Durch die oberirdische Verlegung der Fahrrohre auf Stützpfeilern entlang bestehender Autobahn-Trassen will Musk zudem die Baukosten für diesen teuersten Teil des neuen Verkehrsmittels niedrig halten. Im Gegensatz zu dem von der kalifornischen Regierung bereits geplanten California High-Speed Rail (CAHSR) zwischen Los Angeles und San Francisco, für den angeblich bis zu 70 Milliarden Dollar veranschlagt seien, lägen die Kosten für den Bau der von ihm vorgeschlagenen Pilotstrecke, rechnet er vor, nur bei 6 bis maximal 7,5 Milliarden Dollar. Darüber hinaus geriert sich der Milliardär in diesem Whitepaper, über das die ganze



Reichlich Medienpräsenz bei der Hyperloop Pod Competition im Januar 2017



Auch nach der zweiten Competition steht die Teststrecke noch

Welt berichtet, als Moderator, der die Weiterentwicklung der Hyperloop-Technologie als partizipatives Konzept anregt, ähnlich der im Software-Bereich nicht unüblichen Open-Source-Projekte. In der Tat gründet sich noch im selben Jahr das Startup Hyperloop Transportation Technologies Inc. (HTT) mit dem Ziel, die notwendige Technologie zu entwickeln, und besorgt sich über die Crowdfunding-Plattform „JumpStartFund“ eine erste finanzielle Grundausstattung. 2015 wird bekannt, dass sich ein weiteres, knapp ein Jahr nach der Gründung von HTT entstandenes Unternehmen mit der Materie beschäftigt. Der Firmenname ist ersterem zum Verwechseln ähnlich: Hyperloop Technologies Inc. (HTI). Hinter dem neuen Mitspieler auf dem Feld steht unter anderem der iranisch-amerikanische Unternehmer und Investor Shervin Pishevar, den Musk offenbar schon vor zwei Jahren bei einem Treffen



Bei der ersten Hyperloop Pod Competition das schnellste Geschoss: Der Pod des WARR-Hyperloop-Teams der TU München. Der Prototyp hat ein Gewicht von rund 850 kg und einen Durchmesser von 1 m. Er unterscheidet sich insofern von vielen anderen, als dass er einen Kompressor an Bord hat, der auf 17.000 U/min kommt und die Luft ansaugt und verdichtet, um den Luftwiderstand zu reduzieren

in Kuba für die Idee begeistern konnte. In aller Stille mit 8,5 Mio. Dollar ausgestattet, beginnt HTI in bester amerikanischer Gründermanier in einer Garage, zieht aber schon im Dezember 2014 in ein schickes Loft, den Los Angeles Innovation Campus. Kurz zuvor hatte Musk bereits seine Absicht kundgetan, eine Teststrecke für den Hyperloop zu bauen. Sie soll in unmittelbarer Nachbarschaft zum SpaceX-Firmensitz in Hawthorne, LA entstehen. Das Projekt würden derzeit Ingenieure der Flugzeugbauer Boeing und Airbus, der NASA und seiner eigenen Raketenfirma SpaceX ausarbeiten. Dabei beteuert Musk, dass weder er selbst noch das Unternehmen SpaceX direkt in die beiden vorstehend genannten Firmen involviert sind und dass auch nicht geplant sei, selbst einen kommerziellen Hyperloop zu entwickeln. Vielmehr richte sich sein Interesse darauf, die Entwicklung eines funktionierenden Prototyps zu beschleunigen.

Visionen für die Rohrpost

Unterdessen kommen immer neue Vorschläge für Relationen auf, deren Bedienung mit dem neuen Verkehrsmittel sich anbietet. Abgesehen von der Relation San Francisco - Los Angeles wird auf amerikanischer Seite

beispielsweise auch eine Transkontinentalverbindung New York - San Francisco oder auch über eine Verbindung New York - Washington diskutiert. Doch da die beiden wichtigsten Firmen, HTT und HTI, auf der Suche nach Kooperationspartnern und Investoren kontinuierlich weltweite Kontakte aufbauen, geraten auch

zahlreiche Verbindungen im Ausland in den Fokus des Interesses.

So vereinbart etwa HTT im März 2016 mit der slowakischen Regierung, den Bau einer Hyperloop-Strecke von Bratislava nach Wien zu prüfen, während HTI, im Mai 2015 umbenannt in Hyperloop One, in Zusammenarbeit mit dem renommierten Wirtschaftsprüfungsunternehmen KPMG kurz darauf eine Machbarkeitsstudie für die 480 Kilometer lange Strecke Stockholm - Hel-

sinki (quer durch die Ostsee) vereinbart, die mit dem Hyperloop in 28 Minuten zurückgelegt werden soll. Nur unwesentlich später hat Hyperloop One ein weiteres Projekt in den Vereinigten Arabischen Emiraten am Haken: Hier geht es darum, die Hauptstädte der Emirate Dubai und Abu Dhabi durch eine Hyperloop-Hochgeschwindigkeitstrasse zu verbinden. Auch in diesem Fall folgt stehenden Fußes eine Machbarkeitsstudie unter McKinsey-Beteiligung. HTT auf der anderen Seite geht 2016 eine Zusammen-



Alle Kandidaten mussten vor der Fahrt eine Reihe von Tests bestehen. Der in der Vakuumkammer war der härteste



arbeit mit dem Lufthansa Innovation Hub in Berlin ein, wobei vier Hyperloop-Strecken als potentieller Ersatz für die Flugverbindungen Berlin - München, Berlin - Köln, Düsseldorf - München und Hamburg - München diskutiert werden. Die Deutsche Bahn wiederum macht ihrer Investitionsfreude in ausländische Unternehmen gegenüber Hyperloop One alle Ehre. Mit im Boot ist bei dieser insgesamt 80 Millionen Dollar schweren Investitionsrunde auch die französische Staatsbahn SNCF. Im gleichen Jahr postet Unternehmensgründer Pishevar auf seiner Facebook-Seite ein Bild, auf dem er bei einem Treffen mit dem russischen Präsidenten Wladimir Putin zu sehen ist.

Im folgenden Jahr wird dann bekannt, dass auf den britischen Milliardär Richard Branson – von Insidern gern als der wohl umtriebige ‚Trittbrettfahrer‘ der Szene bezeichnet – der Löwenanteil der 85 Mio. Dollar zurückgeht, die im September in das Start-up Hyperloop One investiert werden. Doch auch die russische Caspian Venture Capital steuert einen nennenswerten Betrag bei, denn schließlich möchte auch Russland eine Hyperloop-Trasse verwirklichen.

Natürlich bleibt es nicht dabei. Quasi wöchentlich werden neue Verbindungen ins Gespräch gebracht. Der Grund dafür ist nicht zuletzt in der Hyperloop One Global Challenge zu suchen, die Musk ins Leben gerufen hatte – ein weltweiter Wettbewerb für Verkehrsplaner, sinnvolle Strecken auszuarbeiten.

Die ersten Nagelproben

Auch an einer anderen Front wird schnell klar, dass man das Thema durchaus ernst nimmt. In zahlreichen renommierten Instituten, wie etwa dem Massachusetts Institute of Technology (MIT), der University of Maryland (UMD), der University of Wisconsin-Madison oder den Universitäten Delft und der TU München, arbeiten Spezialisten gemeinsam mit Studenten an der Entwicklung entsprechender Fahrzeuge. Das wird schlagartig klar, als Musk, dem die Entwicklung nicht schnell genug vorankommt, Mitte 2015 zu einer Hyperloop Pod Competition aufruft, bei der die somit „Pod“ genannten Konzeptfahrzeuge in der geplanten SpaceX-Teststrecke in Hawthorne getestet werden sollen. Um dafür bereits eine Vorauswahl zu treffen, wird diesem Event eine Design Competition vorgeschaltet, die im Januar 2016 an der Texas A&M University stattfindet. Von den rund 120 eingereichten Vorschlägen qualifizieren sich am Ende 22 Entwürfe für die nächste Runde und damit für eine potentielle Fahrt auf der noch zu bauenden Teststrecke. Den ersten Preis des Wettbewerbs belegt die Konstruktion des MIT, der zweite Platz geht an das Team der Universität Delft.

Zu diesem Zeitpunkt ist die SpaceX-Teststrecke in Hawthorne, einem Stadtteil von Los Angeles, bereits im Bau. Doch damit nicht genug! Kurz nach Bekanntgabe

der Preisträger tauchen im Netz Bilder auf, die eine ganze Reihe montagebereiter, geduldig in der Wüste wartender Röhren zeigen. Schnell wird klar: Musk schafft bei Apex, nördlich von Las Vegas, weitere Fakten. Hier in der Mojave-Wüste Nevadas, gibt der Milliardär bekannt, soll ein neues SpaceX-Open-Air-Prüfgelände mit dem Namen „DevLoop“ entstehen: Geplant ist ein über 3,2 Kilometer langes Rohr mit einer kontrollierten Atmosphäre, in welchem man die schwebenden Pods auf über 1.120 Kilometer in der Stunde beschleunigen will. Ende Januar 2017 endlich findet die lang erwartete Hyperloop Pod Competition in Los Angeles statt. Am Ende sind es drei Konstruktionen, die sich für eine Fahrt durch die rund 1,2 Kilometer lange, auf dem Seitenstreifen der Jack Northrop Avenue installierte Röhre qualifizieren können, die in unmittelbarer Nachbarschaft zum SpaceX-Gelände endet. Alle anderen Pods haben den obligatorischen Belastungstest in einer Vakuumkammer nicht bestanden. Für jede Testfahrt muss der jeweilige Pod mit Hilfe einer speziellen Einrichtung vor die Öffnung der Röhre gehoben und dann auf seinen ausschließlich für diesen Zweck installierten Rädern in die Röhre hineingeschoben werden. Danach wird die Öffnung verschlossen und anschließend die Luft aus der Röhre gepumpt.

30 bis 40 Minuten nach Beladung herrscht in der Röhre nur noch ein Luftdruck von 0.14 Kilopascal = 0,0014 Bar, was dem natürlichen Luftdruck in einer Höhe von 61 Kilometern über der Erdoberfläche entspricht. Erst dann kann die Testfahrt beginnen.

Drei Pods jagen an diesem Tag im Januar über die Teststrecke: Der Vakuum-Magnetschwebepod WARR (Wissenschaftliche Arbeitsgemeinschaft für Raketentechnik und Raumfahrt) der TU München, der sich mit einer Spitzengeschwindigkeit von 94 Kilometern in der Stunde als der schnellste der Probanden erweist, und in der Gesamtwertung den 2. Platz erringt, der Pod des Massachusetts Institute of Technology, der mit 88 Kilometern in der Stunde den 3. Platz belegt und den Preis für Sicherheit und Zuverlässigkeit erhält, und der Pod der TU Delft, der zwar noch etwas langsamer ist, aber wegen seiner Bestnoten für Design und Konstruktion auf den ersten Platz kommt.

Kaum mehr als ein halbes Jahr später nimmt vom 25. bis 27. August bereits das Competition Weekend II seinen Lauf. Einziges Bewertungskriterium ist (vorbehaltlich eines im Anschluss erfolgreich abgeschlossenen Bremsmanövers) die höchste erreichte Geschwindigkeit. Diesmal knallt das Studenten-Team der TU München seine Kapsel mit einer Geschwindigkeit von 324 Kilometern in der Stunde über die Strecke und setzt sich damit an die Spitze des Testfelds. Der maßstabsgetreue WARR-Prototyp aus Kohlefaser wiegt 80 Kilogramm, wird von einem 50 Kilowatt starken Elektromotor angetrieben und verfügt über vier pneumatische Bremsen, die ihn in 5 Sekunden oder weniger zum Stillstand bringen.



Die SpaceX-DevLoop-Teststrecke nördlich von Las Vegas in der Mojave-Wüste hat einen Durchmesser von 3.300 mm

Eine unerwartete Wendung

Auf dem Testgelände in der Mojave-Wüste laufen derzeit die ersten Hochgeschwindigkeitstests mit Versuchsschlitten auf einer nicht gekapselten Magnetstrecke. Auch der DevLoop-Vakuum-Track ist mittlerweile fertiggestellt. 500 Meter weit streckt sich die Röhre in die Wüste. Handelte es sich bei der Teststrecke in Hawthorne noch um ein in den lichten Maßen (Innendurchmesser 1.790 Millimeter) herunterskaliertes System, weist die neue Röhre den schon in dem Whitebook von 2013 in etwa vorgegebenen Durchmesser von 3.300 Millimeter auf.

Bereits Wochen vor der zweiten Hyperloop Pod Competition zitiert die Nachrichtenagentur Bloomberg indes eine Quelle aus dem Umfeld von Musk, der zufolge dieser die Hyperloop-Technologie nun doch vollständig selbst entwickeln will. Eine Kooperation mit den bereits bestehenden Start-Up-Unternehmen sei nicht geplant. Damit vollzieht Musk nun eine Wende um 180 Grad. Genau das wiederum bekommt einen ganz eigenen Beigeschmack vor dem Hintergrund, dass alle Teilnehmer der ersten Hyperloop Pod Competition aufgefordert waren, SpaceX die Rechte an ihren Entwicklungen zu übertragen. Musk ficht das nicht an. Auf der DevLoop-Strecke sei, das berichtet in etwa zeitgleich Hyperloop

One, erstmals der Prototyp XP-1, eine 8,7 Meter lange, 2,7 Meter breite und 2,4 Meter hohe Testkapsel, mit allerdings vorerst nur 110 Kilometern in der Stunde durch die Röhre geschickt worden. Tage später, ist auf der Hyperloop-One-Seite zu lesen, sei der XP-1 bereits auf eine Geschwindigkeit von 310 Kilometern in der Stunde beschleunigt worden, und habe bei dem Test eine Strecke von 437 Meter zurückgelegt. Bei einer um 2.000 Meter erweiterten Beschleunigungsstrecke hätte man so eine Geschwindigkeit von 1.100 Kilometern in der Stunde erreichen können. Mitte Dezember 2017 meldet das Unternehmen einen neuen auf der DevLoop-Teststrecke mit XP-1 erzielten Geschwindigkeitsrekord

von fast 387 Kilometern in der Stunde. Möglich wurde das mit dem rein auf Magnetschwebetechnik basierenden XP-1 offenbar durch eine weitere Absenkung des in der Röhre herrschenden Luftdrucks auf nunmehr nur noch 0,0002 bar.

Startschuss für ein erstes Pilotprojekt?

Die technische Entwicklung des Hyperloop, das ist an dieser Stelle zu konstatieren, schreitet derzeit rasant voran. Was nunmehr fehlt, ist der Übergang in ein neues Kapitel. Der Hyperloop muss das Laborstadium hinter sich lassen und sich in einem Probebetrieb unter



Hyperloop One-Pod XP-1 bei der Einfahrt in die einstweilen 500 m lange DevLoop-Teststrecke

praxisnahen Voraussetzungen bewähren. Genau dafür, und damit kommen wir zurück zum Anfang, könnte der Tunnelvortrieb in Maryland die Voraussetzungen schaffen. Bei diesem Projekt wird, wenn man den Bau eines ersten kurzen Verbindungstunnels zwischen dem Firmenparkplatz und den Gebäuden von SpaceX in Hawthorne außer Acht lässt, das erste Mal wirklich Erde bewegt. Und das nicht irgendwie: Denn Anfang April 2017 hatte Musk ein Boring Company genanntes Unternehmen gegründet, dessen erklärtes Ziel der Vortrieb unterirdischer Röhren für den Verkehr des Hyperloop sein soll. Letztlich warte auf die beiden von der Firma Super Excavators aus Menomonee Falls in Wisconsin geleasten Lovat-Tunnelbohrmaschinen die Aufgabe, ließ er unverblümt verlauten, einen transkontinentalen Tunnel von Küste zu Küste zu bohren. Für eine 328 km lange Hyperloop-Strecke von New York über Philadelphia und Baltimore nach Washington D.C., twitterte er Mitte Juli 2017, habe er auf Bundesebene inzwischen die mündliche Zusage der US-Regierung. Da nun der in Maryland projektierte Tunnel genau auf der Route der geplanten Hyperloop-Strecke zwischen New York und Washington verläuft, liegt es nahe, diesen als erste Etappe einer Linie anzusehen, die sich in

weiteren Schritten in südlicher Richtung um rund 56 Kilometer bis nach Washington D.C. verlängern ließe. So hatte es auch Marylands Gouverneur Larry Hogan verstanden und daraufhin am 20. Oktober letzten Jahres erklärt, dass er Musks Hyperloop-Projekt unterstütze, das Baltimore und Washington verbindet. Neuesten Informationen zufolge sollen in dem Tunnel allerdings einstweilen Passagiere und Autos mit normal fahrenden Transportschlitten ans Ziel befördert werden. Musk selbst hatte entsprechendes Videomaterial produzieren lassen und dann ins Netz gestellt. Da dies seine eigenen Pläne konterkarieren würde, ist hier allerdings Skepsis angebracht. Autos mit einem Aufzug auf Tunnelniveau zu bringen, um sie dann gerade einmal 16 Kilometer unterirdisch zu befördern, erscheint wenig sinnvoll. Es sei denn, diese Lösung ist nur als vorübergehendes Provisorium gedacht. Denn die Einrichtung eines echten Probetriebes wirft einige Fragen auf, die offenbar noch nicht geklärt sind. So war bislang etwa von einer Einrichtung zur Einschleusung der Pods in das Teilvakuum kaum etwas zu lesen, ebensowenig wie von Druckkammern, die für einen Personentransport bei einem Luftdruck von 0,0002 Atmosphären unabdingbar wären. △