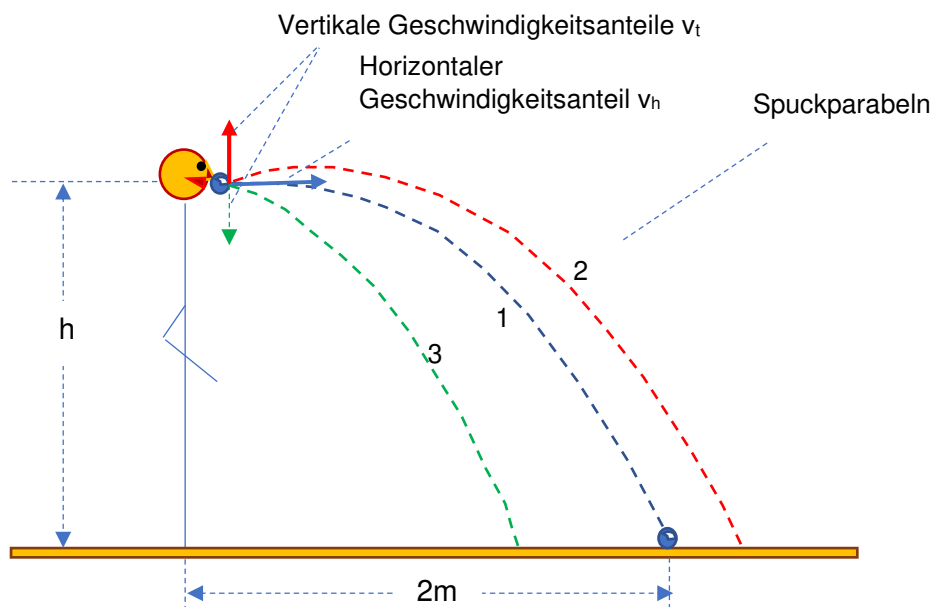


Autor: Harald Kunde

Im März 2020 traten in den Bundesländern wegen Corona Abstandsregeln in Kraft und es wurden in der Folge erste Bußgeldkataloge für Verstöße gegen diese Regeln erlassen. Zeit, sich an die Grundvorstellung der Virusübertragung zu erinnern (es werden die Übertragungen über Tröpfchen-, Schmier- und Aerosol-Infektion betrachtet).

Grundlagen

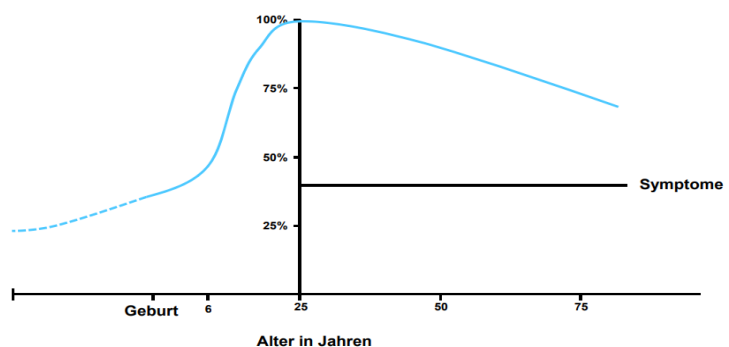
Das folgende Bild illustriert diese Grundvorstellung, die im Folgenden genauer erläutert werden soll.



Legende: h ... Höhe des Mundes des Individuums, 1 ... Norm-Spuckparabel

Aus Sicht des Risikos einer Virusinfektion erkennt man über die Figur sofort, dass größere Menschen gefährlicher sind als kleine, insbesondere sind i.a. Männer gefährlicher als Frauen, Basketballspieler gefährlicher als Kinder und Kleinwüchsige. Für Schutzmaßnahmen wie eine Maskenpflicht könnte man vermuten, dass Kinder eigentlich keine Masken bräuchten. In http://www.sattelduene.de/html/img/pool/Entwicklung_der_kindl._Lunge_Latzin.pdf findet sich folgende Grafik zur Entwicklung des Lungenvolumens im Laufe des Lebens:

Dies zeigt, dass das Lungenvolumen eines KITA-Kindes nur ca. 40% desjenigen eines 25-Jährigen hat. Auf der anderen Seite ist allerdings auch die Querschnittsfläche von Rachen und Mundbereich (Düsenquerschnitt im Behördenjargon) nur etwa 40%, sodass die Auswurf-



geschwindigkeit v in etwa gleich der eines Erwachsenen ist. Dafür ist die Höhe nur knapp die Hälfte. Wie wir sehen werden, ist die Auswurfweite proportional zur Wurzel aus der Höhe. D.h. ein KITA-Kind hat etwa 70% (Wurzel(1/2)) der Auswurfweite eines Erwachsenen. Aufgrund des Größenunterschiedes und da die kindliche Spuckparabel nicht das höher liegende Gesichtsfeld eines Erwachsenen treffen kann, wenn beide aufrecht stehen, scheiden KITA-Kinder als Ansteckungsrisiko für Erwachsene aus (sofern die Erwachsenen sich nicht zum Kind bücken und das KITA-Kind nicht erhöht ist, etwa auf dem Arm oder auf einem Pferd). Unter den Erwachsenen haben die sogenannten Schreier (Behördenjargon) wie z.B. Fußballanhänger die höchste horizontale Auswurfgeschwindigkeit, weshalb die sog. **Norm-Spuckparabel 1** auch an 25-Jährigen aus dieser Gruppe ausgerichtet ist. Ein Seelsorger ist demgemäß wesentlich ungefährlicher in seiner Spuckparabel – nur nebenbei bemerkt. Bevor wir zur Berechnung dieses 2m-Mindestabstands kommen, noch ein Blick auf die Sonderformen der Spuckparabel 2 und 3. Im **Fall 3** zeigt der vertikale Geschwindigkeitsanteil v_t des Auswurfs nach unten. Das reduziert natürlich die Reichweite der Parabel. Typische Vertreter sind die sogenannten Nasenschneider. Das sind Menschen, die durch die Nase atmen und ihren Mund geschlossen halten – im Gegensatz zu den Mundschneidern (z.B. Jogger). Nasenschneider sind völlig ungefährlich, da die ausgeatmeten Viren nur einen vertikalen Geschwindigkeitsanteil nach unten haben. Nasenschneider können daher als besonders sozial eingestuft werden, da ausgeatmete Tröpfchen besonders schnell am Boden anlangen. Es spielt dabei auch keine Rolle, dass die Nase ein paar cm über dem Mund liegt. Für Schreier wird daher dringend empfohlen, aus Rücksicht auf andere mit gesenktem Kopf zu schreien. Im **Fall 2** zeigt der vertikale Geschwindigkeitsanteil nach oben. Dies tritt typischerweise bei Sängerinnen und Sängern auf. Besonders gefährlich sind hierbei Sopranistinnen. Für sie muss ein verschärftes Abstandsgebot (etwa in Chören) gelten. Nun zur Berechnung des 2m-Sicherheitsabstands. Artilleristen werden mit den folgenden Berechnungen keine Schwierigkeiten haben. Für alle anderen empfehle ich die Lektüre der Mechanik eines Standard-Physikbuches.

Laser-Messungen an Schreibern haben ergeben, dass die maximale horizontale Geschwindigkeit ihres Auswurfs $v_h = 3,5 \text{ m/s} = 12,6 \text{ km/h}$ war. An dieser Stelle noch der Hinweis, dass die Auswurfgeschwindigkeit nicht verwechselt werden darf mit der Schallgeschwindigkeit. Letztere beschreibt die Ausbreitung von Schallwellen, nicht der Teilchen, die den Mundraum verlassen.

Nun gilt, wenn $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ die Erdbeschleunigung, t die Zeit und h die Höhe des Mundbereichs vom Boden an gemessen ist:

für die Fallzeit $T = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ und für die in dieser Zeit T zurückgelegte Entfernung $s = v_h \cdot T = v_h \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$.

Für einen 1,80 m großen Erwachsenen gilt, dass sich sein Mundbereich (nur der Mund ist maßgeblich, da der Auswurf der Nase einen vernachlässigbaren horizontalen Geschwindigkeitsanteil hat) ca. 20cm unterhalb des Haaransatzes befindet, weshalb $h=1,60\text{m}$ zu setzen ist (*für den Empfänger des Auswurfs wird als Worstcase eine Liegeposition angenommen, der Höhenunterschied beträgt demnach $\sim 1,60\text{m}$*). Daraus ergibt sich $T \approx 0,57$ Sekunden. Mit $v_h = 3,5\text{m/s}$ ergibt sich $s = 3,5 \cdot 0,57 \approx 2\text{m}$.

Anmerkung: Es gibt im realen Auswurfvorgang horizontale und vertikale Geschwindigkeitskomponenten. Vertikale Anteile können hierbei im Gemisch wegen Verwirbelungen an den Rändern für eine Berechnung der Auswurfweite vernachlässigt werden. Zu berücksichtigen ist ferner, dass alle Messungen bei Windstille und bei unbewegten Probanden erfolgten. Dazu später mehr. *Vollkommen aus dem Rahmen fallen **Huster**. Sie erreichen Auswurfgeschwindigkeiten von bis zu $480 \text{ km/s} \approx 133 \text{ m/s}$ (vgl. <https://www.netdokter.de/symptome/husten>). Zu vermuten ist, dass solche Auswurfgeschwindigkeiten nur mit viel Übung erreicht werden können. Nach obiger Formel gälte für Huster also ein **Sicherheitsabstand von 76m**. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass der Luftwiderstand jetzt nicht mehr vernachlässigt werden kann. 76m ist also eine Obergrenze, die vermutlich nur auf den höchsten Gipfeln des Himalaya gilt. Windstille vorausgesetzt, natürlich.*

Abstandsregel

Es gilt ja inzwischen eine Abstandsregel von 2m Sicherheitsabstand. Man kann sich nun fragen, wieso dies kein gerichteter Abstand ist. Schließlich ist das Gesicht eines Menschen ja in eine bestimmte Richtung blickend. Dazu müssen wir uns ein paar grundlegende Eigenschaften der Physiognomie und der Verhaltensweisen von Menschen vergegenwärtigen. Zunächst zum Mundbereich. Der Mund beschreibt einen Viertel-Halbkreis (also gesamt einen Achtelkreis) in einer horizontalen Schnittebene durch den Kopf. Man kann das leicht selbst vor einem Spiegel verifizieren, indem man den Kopf so weit wie möglich zurücklegt und jetzt seinen Mund betrachtet. Sollte man Schwierigkeiten haben, den eigenen Mund noch zu sehen, kann ein zweiter Spiegel helfen (dies ist auch eine gute Nackengymnastik – nebenbei bemerkt). Da das Sabbern primär zu den Seiten passiert, gibt es einen nicht unerheblichen Anteil der Virenwolke zu beiden Seiten des Mundbereichs. Das Gesundheitsministerium musste natürlich noch berücksichtigen, dass es zu unwillkürlichen Kopfbewegungen zu den Seiten kommen kann, die bei mittel gelenkigen Menschen gerade einen $\frac{3}{4}$ -Halbkreis ausmachen (Test vor dem Spiegel!). Das erklärt den Auswurf-Halbkreis in Front einer Person. Wie kommt aber die Vorgabe für den Vollkreis zustande? Stellt euch vor, jemand nähert sich euch von hinten. Ihr bemerkt das, dreht euch um und sagt: „Halten Sie bitte Abstand!“. In dem Augenblick, wo ihr das sagt, muss der sich Annähernde natürlich noch 2m hinter euch sein. Um also einer Person zu ermöglichen, auf das Abstandsgebot hinzuweisen, muss auch hinter der Person ein Abstandsgebot von 2m gelten. Manche könnten jetzt einwenden, dass der Annähernde ja auch den 2m-Abstand einhalten muss, und sein Gesicht zeigt ja zum Rücken des Gefährdeten. Dabei wird aber übersehen, dass sich der Annähernde auch rückwärts gehend nähern könnte, womit die Annäherung bei gerichtetem Abstandsgebot beliebig klein werden könnte. So etwas muss natürlich ausgeschlossen sein (vergleiche hierzu auch die späteren Ausführungen zu rotierenden Menschen).

Sonderfall Grundstücksgrenze

An Grundstücksgrenzen gilt der doppelte Abstand. Ein bayerischer Grundstücksbesitzer hatte darauf geklagt, dass sein Nachbar einen Mindestabstand von 2m zu seiner Grundstücksgrenze einhalten müsse und Recht bekommen. Andernfalls könne es zu einer viralen Kontamination des eigenen Grundstück kommen. Dieses Urteil führt dazu, dass 2 Nachbarn, die über ihre Grundstücksgrenze kommunizieren, einen Mindestabstand von 4m einhalten müssen. Sind beide Nachbarn Huster gilt sogar ein Sicherheitsabstand von 76m zur Grundstücksgrenze für jeden von beiden – Ausnahme: Die Grundstücksgrenze ist mit einer Plexiglas-scheibe gesichert.

Risiko- und Gefährdergruppen

Während bekannt ist, dass ältere Menschen und Menschen mit Vorerkrankungen zur Risiko-gruppe gehören, d.h. zur Gruppe der Personen, für die ein Infektionsverlauf gefährlich ist, ist weniger bekannt, wer zur sogenannten Gefährdergruppe zählt. Wir hatten schon Sopranistinnen hierzu identifiziert. Aber natürlich gehören alle großwüchsigen Menschen dazu, wie etwa Basketballspieler. Gern vergessen werden in diesem Zusammenhang Reiter. Da sie durch das Pferd erhöht sind, haben sie natürlich eine deutlich weiter reichende Spuckparabel. Maximal wird sie im Falle schreiender 25-jähriger Reiter. Das zeigt auch, dass für Menschen, die aus dem Fenster gucken, dasselbe gilt, verstärkt, wenn sie zusätzlich auch noch schreien. Vor Solidaritätsveranstaltungen, in denen Menschen auf dem Balkon singen und klatschen, kann also nur gewarnt werden. Umgekehrt können Menschen, die etwa verletzt auf dem Gehsteig liegen, als völlig ungefährlich gelten. Ihre Spuckparabel endet nach wenigen Zentimetern. Dies illustriert, dass es eine signifikante Korrelation von Risiko und Größe gibt. Das Risiko, sich zu infizieren, steigt nämlich mit fallender Größe. Es steht daher zu vermuten, dass in den

Innenstädten demnächst verstärkt Menschen zu Pferde zu beobachten sind. Für die Gefährder gilt die umgekehrte Relation: Die Gefahr, andere zu infizieren, steigt mit der Größe. Allerdings gilt hier keine Proportionalität, wie man leicht überlegen kann. Denn bei sehr großer Höhe übersteigt die Fallzeit eines Tröpfchens mit Viren die Zeit der Austrocknung des Tröpfchens. Erstaunlicherweise gehören aber auch viele ältere Menschen zur Gefährdergruppe. Das liegt daran, dass bei Infektionen auch die Virendosis maßgeblich ist. Da ältere Menschen verstärkt zum Sabbern neigen, erhöht dies also die Gefährlichkeit hinsichtlich Dosis, auch wenn die Auswurfweite geringer ist (geringeres Lungenvolumen, siehe oben). Insbesondere schreiende alte Menschen müssen also zur Gefährdergruppe gerechnet werden, zumal sie, wie Beobachtungen zeigen, beim Schreien den Kopf in die Höhe recken, was ja, wie wir gesehen haben, die Spuckparabel nach oben vorne verlagert und damit die Auswurfweite erhöht. *Als besonders gefährlich haben sich aber Pfeifer erwiesen, also Menschen, die etwa ein Liedchen pfeifen. Auch wenn sie ein normales Lungenvolumen haben, ist ihr Düsenquerschnitt durch die Zuspitzung des Mundes so verengt, dass es zu erheblichen Steigerungen der horizontalen Auswurfgeschwindigkeit kommt. Pfeifer erreichen damit Auswurfreichweiten, die nicht selten fast das Doppelte der Norm-Spuckparabel sind. Dasselbe gilt natürlich für Flötenspieler und vergleichbare¹. Die Flöte wirkt bzgl. der Viren wie eine Art Blasrohr. Extrem gefährlich sind demnach 25-jährige, pfeifende oder Flöte spielende Reiter. Sie sind unbedingt zu meiden. Es wird daher an dieser Stelle den Gesundheitsämtern der Republik dringend empfohlen, das Pfeifen oder Flöte spielen in der Öffentlichkeit zu verbieten. [Quasi in einer anderen Liga spielen natürlich hustende Reiter. Hier sind Abstände von ca. 100m einzuhalten.](#)*

Multiplikatoren

Die Gefährdung durch (reitende) Pfeifer und Sopranistinnen ist hoch, aber fast unwesentlich verglichen mit der durch sogenannte Multiplikatoren. Wenn auf Menschen der Begriff „Virenschleuder“ angewendet werden kann, dann auf diese Gruppe. Das Standardbeispiel eines Multiplikators ist der Corona-positive Barkeeper in jener berühmten Bar in Ischgl, in der sich zahlreiche Touristen infizierten und das Virus in ihre Heimatländer verbreiteten. In diesem Fall kam noch erschwerend hinzu, dass Bedienungen, die immer wieder Getränke an der Ausschänke abholten, mit Trillerpfeifen(!) in der Bar unterwegs waren, um sich bemerkbar zu machen. Multiplikatoren sind Menschen mit besonders vielen sozialen Kontakten. Neben Bediensteten von Bars und Restaurants rechnen dazu Marktweiber, Verkäuferinnen, Friseure, LehrerInnen u.ä. Sie stellen Drehscheiben für die Virusverteilung dar. Meist wissen die Betroffenen gar nicht um ihre unheilvolle Rolle. War euch etwa bewusst, dass Obdachlose, die in einer Fußgängerzone betteln, Multiplikatoren sind? Zunächst sitzen sie, sind also durch die tiefere Position ihres Atmungsorgans besonders gefährdet. Wenn sie dann infiziert sind, tragen sie das Virus weiter. Denn der typische Ablauf ist folgendermaßen. Ein mitfühlender Nicht Infizierter nähert sich ihnen, bückt sich zum Obdachlosen und gibt eine Münze in den Euro-to-go-Becher des Bettlers. Worauf dieser seinen Kopf hebt und durch seine Zahnlücken, direkt an den Spender gewandt, ein „Danke!“ spricht, oder noch schlimmer ein „Vvvielen Dank!“. Multiplikatoren sind zentrale Knoten in den Graphen des Kleine-Welt-Modells. Für zukünftige Pandemien scheint wichtig, diese Knoten zu kennen. Dann könnte man sie nämlich mit Abstandsmesssystemen ausstatten, wie man sie von Einparkhilfen kennt. Diese Systeme könnten etwa auf dem Kopf montiert werden. Das hätte auch noch gesundheitliche Vorteile, reduziert ein solches System doch die Gefahr für den Träger, sich am Kopf zu stoßen.

Die Frage eines befreundeten Wissenschaftlers, ob von Tandemfahrern eine erhöhte Gefahr ausgeht, kann an dieser Stelle gleich beantwortet werden: Nein. Es findet keine Verdopplung des Sicherheitsabstands statt², allerdings eine mögliche Verdopplung der potenziellen Viren-

¹ So untersuchen Erlanger Wissenschaftler anlässlich von Corona seit Mai das Strömungsverhalten der Luft in der Umgebung von Bläsern des Bamberger Sinfonieorchesters (gemeldet auf BR5 am 5.Mai).

² Dies gilt allerdings nur für ruhende Tandemfahrer, wie der nachfolgende Abschnitt zeigen wird.

dosis. Die Frage ist zu sehen in Verbindung mit einem Hinweis desselben Wissenschaftlers, dass von einem Paar aus einem 25-jährigen pfeifenden Basketballspieler und einer 25-jährigen singenden Sopranistin, die zusammen auf einem Kamel reiten, eine noch höhere Gefahr ausginge als in dem oben skizzierten Fall. Dies ist zwar richtig, was die potenzielle Erhöhung der Virendosis angeht, es findet aber dadurch, dass 2 Gefährder zusammen reiten, keine Erhöhung der Auswurfweite statt. Es handelt sich dabei außerdem um einen Spezialfall des allgemeineren Falls, dass (mit $m, n > 0$) m 25-jährige pfeifende Basketballspieler zusammen mit n 25-jährigen singenden Sopranistinnen auf einem reitbaren Tier³ sind – die im Übrigen natürlich aus einem gemeinsamen Haushalt kommen müssen. Letzteres gilt auch für Tandemfahrer. Dass dabei die Gefahr mit der Geschwindigkeit des reitbaren Tiers bzw. des Tandems steigt, zeigt der Abschnitt „Neue Erkenntnisse“. Zunächst noch zu gefährdendem Verhalten, speziell linguistischen Aspekten hierin.

Gefährdendes Verhalten

Wie oben erwähnt, sind Ansammlungen von Menschen wie *Tankstellen für das Virus*. Zusammenballung und Nähe sind also zu vermeiden. Eine befreundete Kinderpsychologin wies nun darauf hin, dass auch die Verwendung von Sprache zur Gefährdung beitragen kann. Hier ihr Statement:

Neue Untersuchungen und Äußerungen von Ärzten z.B. des Helmholtz-Zentrums in München belegen eindrucksvoll die problematische, ja vielleicht sogar verheerende Auswirkung des dentalen Frikativs (u.a. Frau Dr. Claudia Traidl-Hoffmann). Bei korrekter Aussprache des englischen Lautes "the" (die Zungenspitze rührt an den unteren Rand der Schneidezähne "um sich unmittelbar nach Ausstoßen eines phonetisch entweder durch das nach links ausgerichtete Pfeilzeichen (stimmhaft) oder durch die von einem Balken durchzogene Null (stimmlos) darstellbaren Tierlauts wieder in den Mund zurückzuziehen" (SZ Streiflicht vom 09./10.05.). Wenn man also ein Wort mit "th" ausspricht, werden extrem viele Spucketröpfchen "in die Welt" geschickt, sprich, dem Gegenüber eine immense Zahl von Viren "reingereicht". Es besteht also bei korrekter Aussprache eine erhöhte Infektionsgefahr!! Besonders gefährlich sind dementsprechend Wörter wie "thunderstorm" oder "healthy", es reicht aber auch schon, die "mother" zum Muttertag zu beglückwünschen.

Vielleicht sollten sich Linguisten dafür Zeit nehmen, die deutsche Sprache zu durchleuchten und Wörter mit hoher Virenlast zu kennzeichnen und damit auch zu diskriminieren. Mir fallen da spontan ein: Deutschland, rasch, Spucke, Fisch und Fleisch und Zungenbrecher, von "Spaziergang" ganz zu schweigen. Herrjeh, da bleiben wohl nicht mehr viele Wörter übrig.

Mit einem Wort: Sprache verbindet!

Ja, das ist zu befürchten.

Neue Erkenntnisse

Mitte April hat man festgestellt, dass das Abstandsgebot im Rahmen der Corona-Maßnahmen auch geschwindigkeitsabhängig ist. So gilt für Radfahrer, die hintereinander mit ca. 30 km/h fahren, ein Mindestabstand von 20 m. Dagegen gilt für Unbewegliche eine Größe von 2m (s.o.). Unter der Annahme von Linearität, die von Behörden üblicherweise unterstellt wird, folgt folgende Funktion für den Mindestabstand von 2 Menschen M_1 und M_2 (der Einfachheit halber

³ Dies kann ein Pferd, Kamel, Dromedar oder ein Elefant sein (Rinder scheiden wegen geringerer Schulterhöhe aus).

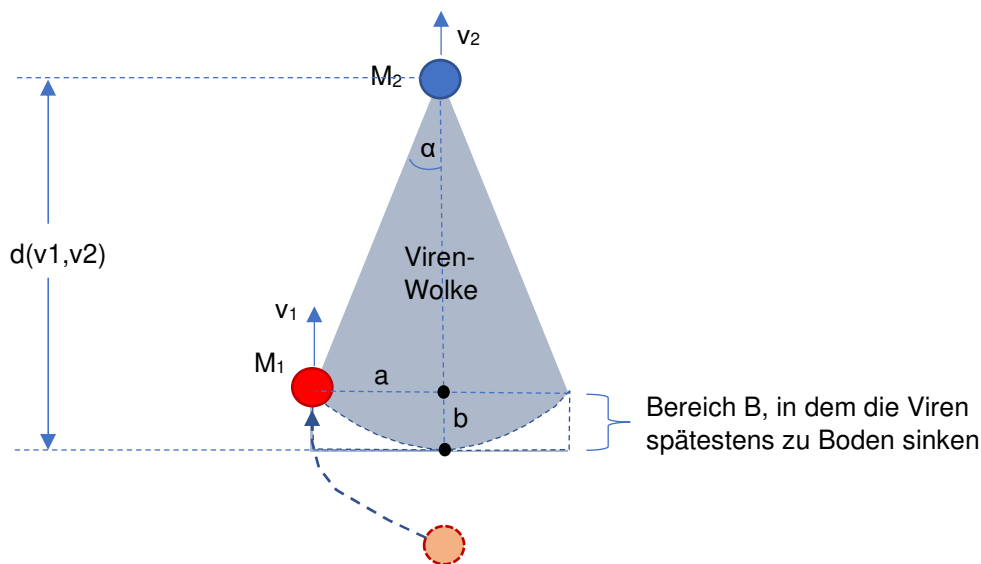
punktförmig angenommen), die sich in gleicher Richtung mit Geschwindigkeiten v_1 und v_2 bewegen⁴, wobei o.E.d.A. M_2 vor M_1 sei (v_1 und v_2 in km/h):

$$d(v_1, v_2) = 2 + v_2 \cdot 18/30 \text{ [m].} \quad (1)$$

Der Abstand hängt offenbar nicht von dem ab, der sich nähert, sondern nur von dem Angehörten. Das liegt am Trägheitsmoment der Viren.

Man erkennt, dass sich für $v_1=v_2=0$ (Unbewegliche) 2m und für 2 Radfahrer, die mit 30 km/h hintereinanderfahren, $2+18 = 20\text{m}$ Mindestabstand ergeben. O.E. kann auch $v_1 \geq v_2$ angenommen werden, denn andernfalls enteilt der vorangehende/voranfahrende Mensch M_2 , was ja unkritisch wäre und daher nicht weiter betrachtet werden muss.

Was aber passiert, wenn M_1 hinter M_2 ist und $v_1 > v_2$ gilt? In diesem Fall findet ein Überholvorgang statt. Sobald M_1 neben M_2 ist, gilt offenbar der Mindestabstand von 2m. Aber wie ist die Weltlinie von M_1 während des Überholvorgangs? Hierzu folgende Skizze, die den Überholvorgang veranschaulicht.



Man überlegt leicht, dass die Breite b von B gerade 2m ist (aufgrund des Abstandgebots für Unbewegliche). Was aber ist α und wie weit muss demzufolge ein Überholender für einen Überholvorgang ausholen?

Eine einfache Überlegung erlaubt die Ermittlung von α . Stellt euch vor, es wäre gerade umgekehrt: M_2 wäre in obiger Figur ein Radfahrer, der den Fußgänger M_1 gerade überholt hätte und auf gleicher Höhe einen Abstand a von 2m eingehalten hätte. Im Extremfall hätte M_1 Geschwindigkeit 0, etwa wenn er sich gerade die Schnürsenkel bindet. Damit ihn die Viruswolke nicht trifft, muss offenbar gelten (wenn $v_2=30\text{km/h}$):

$\tan \alpha = 2\text{m}/(20-2)\text{m} = 1/9$. Daraus folgt $\alpha = 6,34^\circ$. Allgemein ergibt sich also:

$$\alpha = \arctan(2/(d(v_1, v_2)-2)), \text{ wobei } M_1 \text{ } M_2 \text{ hinterhereilt und } v_1 \geq v_2 \text{ gilt.}$$

D.h. α ist geschwindigkeitsabhängig. Für $v_2 = 0$ ergibt sich $\alpha = \arctan(\infty) = 90^\circ$ (seitlicher Mindestabstand 2m!), für $v_2 \rightarrow c$ ($c = \text{Lichtgeschwindigkeit}$) strebt α gegen 0.

⁴ Die Spezielle Relativitätstheorie kann an dieser Stelle vernachlässigt werden. Andernfalls müsste (1) folgendermaßen abgewandelt werden: $d(v_1, v_2) = 2 + \gamma \cdot v_2 \cdot 18/30 \text{ [m]}$, mit Lorentzfaktor $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}}$

Jetzt wird auch die *Universalität des Mindestabstands von 2m* für Unbewegliche deutlich: Die Viruswolke ist gerade so, dass sie, 2m bevor sie zu Boden sinkt, nach links und rechts maximal 2m spannt. Noch etwas wird klar: Wenn M_1 und M_2 gleiche Höhe des Mund-Nasen-Bereichs haben (vom Boden an gemessen), so ist $d(v_1, v_2)$ großzügig bemessen. Falls der Überholte aber etwa ein Kind ist, schöpft die Viruswolke $d(v_1, v_2)$ fast aus. Und im Fall, dass ein am Boden Liegender überholt wird, wird $d(v_1, v_2)$ tatsächlich als Mindestabstand benötigt.

Man erkennt, dass keine Verbreiterung von Fahrradwegen, die bereits 2m breit sind, nötig ist. Auf Fahrradwegen, die eine geringere Breite haben, gilt dagegen implizit ein Überholverbot, was wohl den wenigsten bewusst ist.

Obigen Überlegungen liegen gewisse idealisierende Annahmen zugrunde. So etwa eine Kopfform, die eher strömungsgünstig und nicht brettförmig ist. Heutige Fahrradhelme unterstützen die Annahme stromlinienförmiger Kopfform. Völlig ungeeignet sind Kopfbedeckungen, wie sie von ägyptischen Pharaonen verwendet wurden, da diese die Luftströmung nach oben ablenken und damit den nötigen Mindestabstand vergrößern.

Wie die Formel für $d(v_1, v_2)$ abzuwandeln ist, wenn sich M_1 und M_2 aufeinander zu bewegen, kann als einfache Abituraufgabe gestellt werden. Als Zusatz kann eine Berücksichtigung von Windstärke und Windrichtung integriert werden. Zusatzpunkte könnten bei Lösung des 3-Fahrradfahrer-Problems vergeben werden, wenn nämlich ein Überholvorgang ansteht und zusätzlich ein Fahrradfahrer M_3 mit Geschwindigkeit v_3 entgegenkommt. Denn M_1 kann ja erst nach einer gewissen Strecke nach dem Überholen rechts einscheren (wegen der Viruswolke).

Anmerkung:

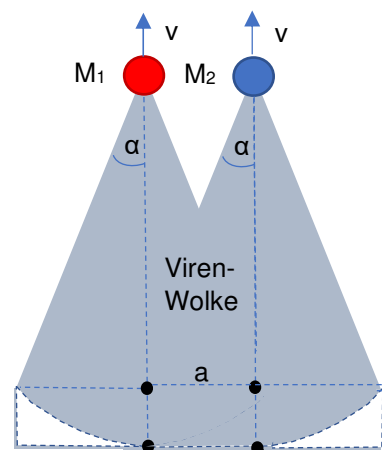
Dem aufmerksamen Leser wird aufgefallen sein, dass das Abstandsgebot von mindestens 2m einen Fall nicht berücksichtigt: Sind M_1 und M_2 nebeneinander mit gleicher Geschwindigkeit $v = v_1 = v_2 > 0$ unterwegs, so können ihre Viruswolken trotz geringerem Abstand als 2m ihrer jeweiligen Mund/Nase-Bereiche dort vorne disjunkt⁵ sein, wie das folgende Bild für $v = 12,6$ km/h zeigt.

Das bedeutet, dass der Abstand a zwischen M_1 und M_2 , auch wenn man eine gewisse Ausdehnung der Kopfform unterstellt, deutlich unter 2m sein kann. Im Fall, dass $v \geq 12,6$ km/h (maximale Auswurfgeschwindigkeit von Schreiern) ist, kann der Abstand sogar 0 sein. Ein Hoffnungsschimmer für alle Liebenden.

Das zeigt, dass die Gesundheitsämter bei der Definition des Mindestabstands vermutlich nur an unbewegliche Bürger gedacht haben. Ein Zyniker, der behauptet, dies sei die Lieblingsvorstellung von Politikern und Ämtern.

Aufwinde:

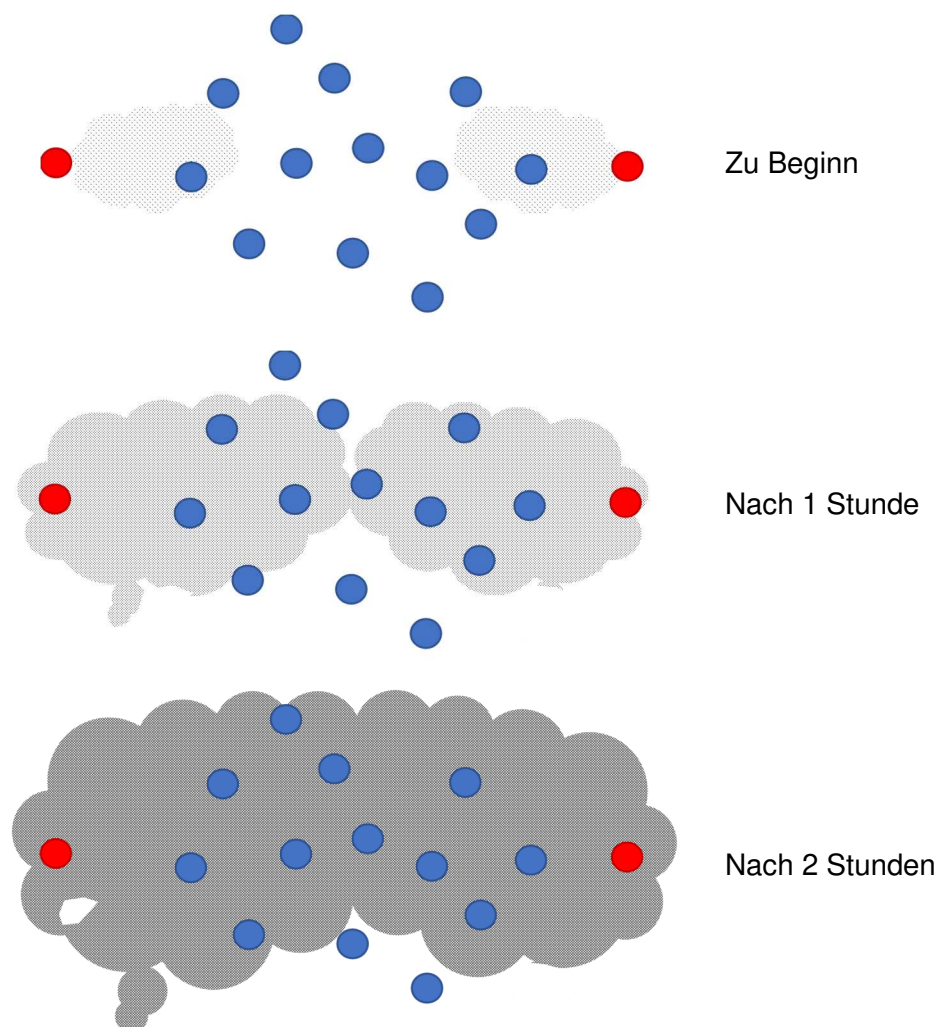
Zu erwähnen bleibt, dass Aufwind so zu behandeln ist, als ob ein vertikaler, nach oben gerichteter Geschwindigkeitsanteil vorläge. Die Spuckparabelweite wird also vergrößert. Bekanntermaßen steigt in Tiefdruckgebieten die Luft auf, in Hochdruckgebieten ab. Demzufolge empfiehlt es sich, Spaziergänge in der freien Luft bei Hochdruckeinfluss zu unternehmen. Bei Tiefdruckeinfluss kommt erleichternd hinzu, dass diese häufig mit Wind und Regen verbunden sind. Dies wäscht eventuelle mit Viren kontaminierte Tröpfchen aus der Luft aus. Somit spricht nichts gegen Spaziergänge bei Wind und Regen, sofern man es vermeidet, sich auf den Boden zu legen, wo Auswaschungen eventuell einen kontaminierten Schmierfilm bilden könnten.



⁵ Das gilt natürlich auch für unterschiedliche Geschwindigkeiten. Es darf nur keiner der Teilnehmer unbewegt sein. Wegen einer gewissen Ausdehnung der Kopfbereiche gilt eine Unschärferelation.

Aerosole

Ergebnisse aus neueren Untersuchungen zeigten, dass es neben der Verbreitung des Virus über Spucketröpfchen und Schmierinfektion noch offensichtlich die über sogenannte Aerosole gibt. Das sind feinste kontaminierte Tröpfchen, die so leicht sind, dass sie in der Luft stehen. Sie vertrocknen nach ca. 2-3 Stunden, womit die enthaltenen Viren absterben. Nun stellte sich heraus, dass die Infektion über Aerosole für kurzfristige Begegnungen von Gefährder und Gefährdetem irrelevant sind, dass in solchen Fällen die Virendosis i.a. zu gering ist. Gefährlich im Fall der Übertragung durch Aerosole ist mithin die sogenannte **Anreicherung**. Im Laufe der Zeit einer Zusammenkunft von Menschen in einem schlecht durchlüfteten Raum stoßen immer mehr kontaminierte Tröpfchen zusammen und bilden größere, bis hin zur Konsistenz von kleineren Spucketröpfchen. Ausbreitung und Dichte der Virenwolke steigen an. Der Volksmund spricht von „dicker Luft“. Dem liegt wohl die Vorstellung zugrunde, dass sich die Luft das Virus einverleiben würde. Das folgende Bild (Sicht von oben auf die Szene) illustriert den Sachverhalt. Gefährder sind rot, Gefährdete blau gekennzeichnet, die Virenwolke der Gefährder ist durch schwarze Pünktchen symbolisiert.

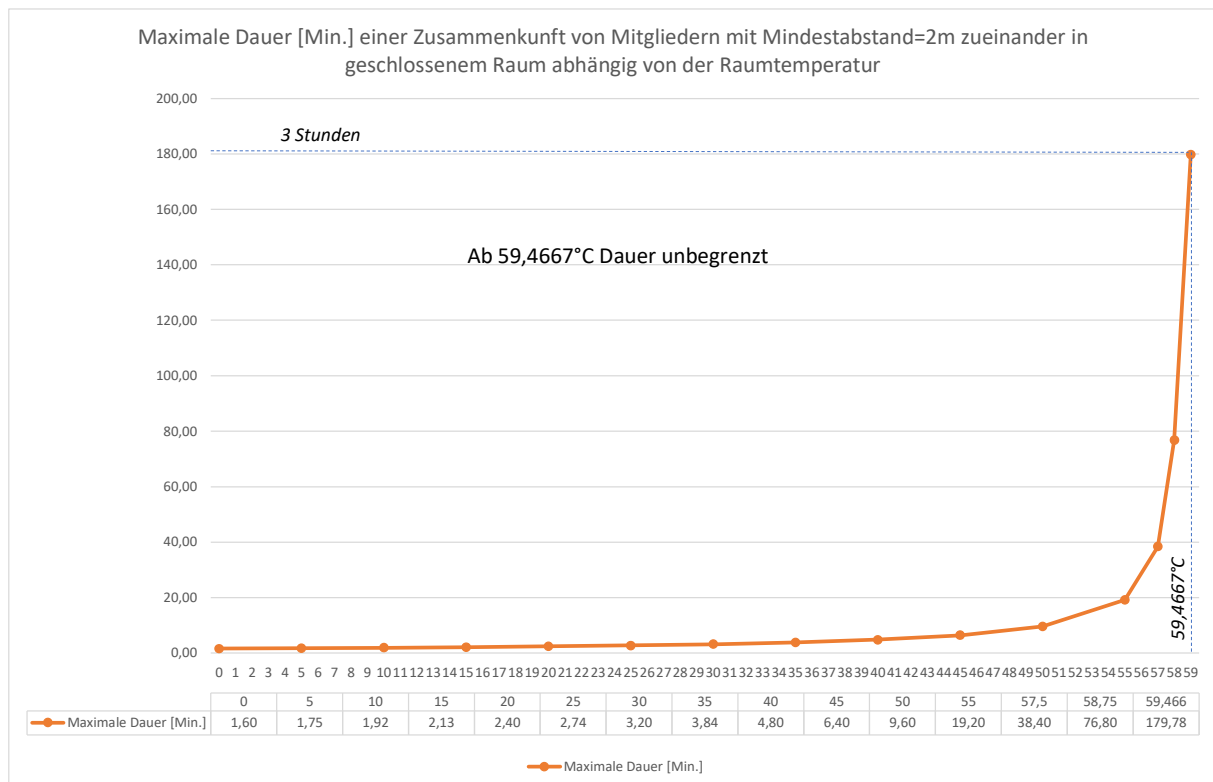


Das Szenario „Aerosole“ tritt typischerweise in geschlossenen Räumen auf, etwa in Kirchen, Chören, Orchestern oder Veranstaltungen wie Diskos etc. Das Gefühl mancher Chormitglieder, sich heute wieder verausgabt zu haben, hat, wie man sieht, einen realen Hintergrund. Das Szenario „Aerosole“ verdeutlicht auch, dass Abstandsregeln allein in diesen Fällen keinen Schutz vor Infektion leisten können. Vielmehr kommt in diesem Fall die Kürze der Begegnung

hinzu. Statt dass sich ein Chor etwa zu stundenlanger Probe zusammenfindet, ist es also sinnvoll, mehrere 5-Minuten-Treffen durchzuführen. Dies stellt natürlich hohe Ansprüche an die Vorbereitung solcher Treffen. Man hat folgende Formel für die Durchführung von Zusammenkünften gemäß „Aerosol-Szenario“ empirisch ermittelt:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} \geq \frac{60^\circ\text{C}-T}{2.880 \frac{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{m}}} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (\text{bei Windstille}), \text{ wobei } \Delta s \text{ den minimalen Abstand der Gruppenmitglieder, } \Delta t \text{ die maximale Zeitdauer der Zusammenkunft und } T \text{ die Raumtemperatur in } ^\circ\text{C} \text{ bezeichnet.}$$

Im Beispiel des Chors ergibt sich bei einer Raumtemperatur von 20°C eine maximale Dauer der Zusammenkunft von 2 Stunden, falls alle Chormitglieder zueinander mindestens 100 Meter Abstand einhalten⁶. Da nach 3 Stunden die Viren als abgestorben gelten können, gilt eine zeitlich unbegrenzte Zusammenkunft bei einem Mindestabstand der Mitglieder von 150 Meter als möglich. Alternativ könnte sich der Chor für maximal 5 Minuten treffen, wenn alle Mitglieder zueinander einen Mindestabstand von ~4,2 m einhalten. Wenig bekannt ist, dass sich der Mindestabstand deutlich reduzieren lässt durch eine Erhöhung der Raumtemperatur. So kann der Mindestabstand aus Sicht des Aerosol-Szenarios völlig ignoriert werden und die Dauer der Zusammenkunft beliebig sein, wenn die Raumtemperatur größer als 60°C ist. Aber bereits bei 40°C Raumtemperatur ist eine Verdopplung der Dauer gegenüber dem 20°C-Fall möglich, bei 50°C sogar eine Vervielfachung bzw. eine Dauer von 9 Minuten und 36 Sekunden, gepaart mit einem Mindestabstand von 2 Meter! Speziell interessiert natürlich der Fall $\Delta s = 2\text{m}$. Das folgende Diagramm zeigt die Abhängigkeit von Δt zur Raumtemperatur T .



Abstandsregeln für rotierende Menschen

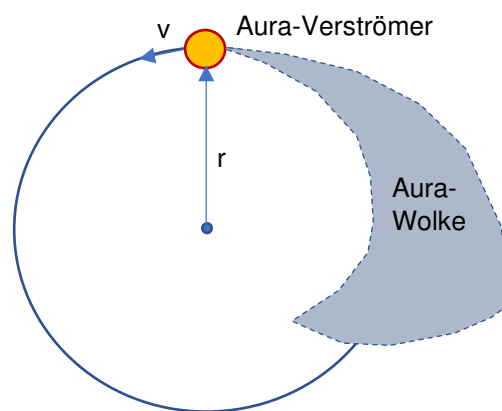
Im vorangegangenen Teil haben wir uns mit Abstandsregeln für unbewegte und gleichförmig bewegte Menschen beschäftigt. Jetzt kommen wir zum schwierigeren Teil, den Abstands-

⁶ Dies führt allerdings wegen der Schallgeschwindigkeit von ca. 343 m/s (etwas höher bei dicker Luft) zu Verzögerungseffekten, wie man sie aus mancher Videokonferenz kennt.

regeln für rotierende Menschen. Zunächst ein paar Anmerkungen zur sogenannten *Aura* von Menschen.

Wissenschaftler haben bislang den Begriff der *Aura* als esoterisches Geschwätz abgetan. Corona zeigt uns, dass das wohl zu einfach war. Es gibt einen naturwissenschaftlichen Hintergrund für diesen Begriff: Die Viruswolke, die jeder von uns verströmt. Genauer gesagt natürlich diese Wolke aus chemischen Geruchsstoffen, Tröpfchen, Viren, Mikroben, Hautschuppen, Kleidungsabrieb und Milben, die uns umgibt. Die Wolke mit den beschriebenen Bestandteilen kann als *Aura im naturwissenschaftlichen Sinn* bezeichnet werden. Esoteriker kannten den Begriff schon lange, konnten aber Struktur und Bestandteile nur unzureichend benennen, weshalb es viele Missverständnisse gab.

Die Aura ist hochkomplex. Bekannt ist beispielsweise, dass die Auswahl eines Partners primär über die Sub-Aura der Geruchsstoffe erfolgt. Partner erkennen daran, dass das Immunsystem des anderen Defizite des eigenen Immunsystems gut kompensieren kann. Potenzielle Nachkommen können also ein verbessertes Immunsystem erhalten. Dass auch die anderen Bestandteile der Aura zur Komplexität beitragen, machen schon einfache Überlegungen klar. So haben Viren Fallradien (Radius um den *Aura-Verströmer*) von 2 Metern, während Mikroben oder Hautschuppen deutlich geringere Radien haben, chemische Geruchsstoffe dagegen i.a. durchaus größere Werte. Diese Aussagen gelten bei Windstille, genauer gesagt für *Aura-Verströmer*, die relativ zur Luftbewegung unbewegt sind. Für einen *Aura-Verströmer*, der sich mit dem Wind in gleicher Geschwindigkeit und Richtung bewegt, gelten also die gleichen Radien wie für einen unbewegten bei Windstille. Mehr noch: Es gelten sogar dann noch dieselben Radien, wenn sich der *Aura-Verströmer* in einer rotierenden Luftsäule (etwa einem Tornado) mit derselben Rotationsgeschwindigkeit bewegt. Bei solchen Rotationen tritt ein wichtiger Effekt auf: die sogenannte Selbstverstärkung. Dies zeigt die nachfolgende Grafik.



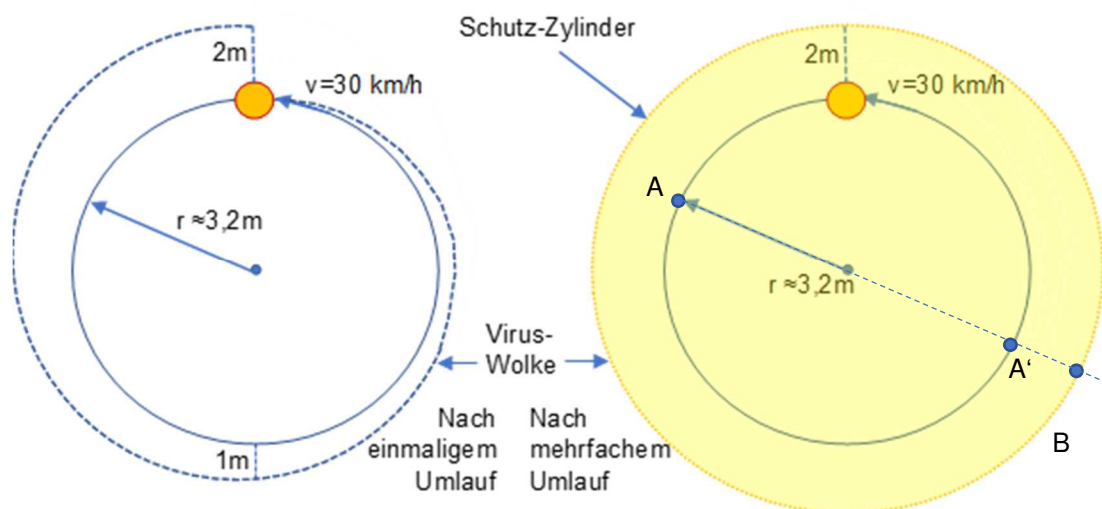
Man erkennt sofort, dass es bei ausreichend großer Rotationsgeschwindigkeit v des *Aura-Verströmers* zu einer Verstärkung der *Aura-Wolke* kommt (der *Aura-Verströmer* holt seine eigene Wolke ein, bei höherer Geschwindigkeit holt er sie sogar mehrfach ein). Man kann sich leicht überlegen, dass bei Annäherung von v an die Lichtgeschwindigkeit die Dichte der Wolke gegen ∞ geht. Wir bezeichnen *Aura-Verströmer* in diesem Fall als *Lichtgestalten*. Zurecht, wie diese Überlegungen zeigen. Der Nachteil bei *Lichtgestalten* ist allerdings, dass eine Annäherung fast ausgeschlossen ist. Dies liegt daran, dass sich ein Annähernder letztlich auf demselben Kreis mit Radius r und derselben Geschwindigkeit bewegen müsste, da sich die *Aura-Wolke* ja im Fall $v \rightarrow c$ zum Zylinder gemäß Kreisbogen reduziert ($\alpha=0!$). Das bedeutet aber, dass ein sich Annähernder selber zur *Lichtgestalt* würde, mehr noch: Er wäre letztlich modulo Massenunterschied nichts anderes als eine Kopie des *Aura-Verströmers*. Das scheint nicht erstrebenswert.

Die relativ geringen Fallradien der *Aura*-Bestandteile ($\leq 2\text{m}$, von Geruchsstoffen abgesehen) machen auch klar, warum so viele Menschen die Nähe zu einem *Aura-Verströmer* suchen

(über 2m keine Aura!). Aufgrund obiger Überlegungen zu rotierenden Aura-Verströmern ist offensichtlich ein gleichförmig bewegter Aura-Verströmer zu bevorzugen, da dann einerseits die Aura größer und breiter ausfällt, andererseits eine Annäherung eher gelingen kann. Allerdings erfordert dies von denen, die sich nähern wollen, eine profunde Kenntnis der Bewegungsrichtung des Aura-Verströmers. Esoteriker bezeichnen dies gerne als geistige Synchronizität. Die obigen Vorüberlegungen zeigen, dass dies einen wissenschaftlichen Hintergrund hat. Wenn wir den Grenzvorgang vorstellen, dass sich die Geschwindigkeiten von Aura-Verströmer und Aura-Verfolger der Lichtgeschwindigkeit nähern, wissen wir ja, dass der Streuwinkel α gegen 0 geht. D.h. eine hundertprozentige Gleichausrichtung der Bewegungsrichtungen wird essenziell. Wie leicht können Weltlinien in so einem Fall für immer divergieren! Dies macht klar, dass die Aura eines bewegten Aura-Verströmers zwar größer ist, dass ein sich Annähernder aber weitgehend gleichgerichtet sein muss, insbesondere je näher er kommt.

Anwendungen für Corona

Sind nun rotierende Menschen aufgrund möglicher Selbstverstärkung ihrer Aura-Wolke in Zeiten von Corona größere Viren-Schleudern als gleichförmig Bewegte? Die Antwort ist: Das hängt von r und der Rotationsgeschwindigkeit v ab. Denn wenn wir uns etwa eine Eiskunstläuferin bei einer Pirouette vorstellen, so ist ihr Radius r minimal. Die Viruswolke bleibt innerhalb eines Schutz-Zylinders mit Radius 2m. Anders verhält es sich bei einem Menschen, der mit 30 km/h in einem Kreis vom Radius r läuft. Da er ja eine Wolke von 20m Länge hinter sich herzieht, wäre sein Grenzzylinder zur Verstärkung der Viruswolke gleich $20/2\pi \approx 3,2$ Meter.



Der Radius des Schutzzyinders wäre $3,2 + (2+2)/2 = 5,2$ Meter. Das ist mehr als das Doppelte des Mindestabstands für Unbewegliche, aber deutlich weniger als die 20 m Mindestabstand für gleichförmig Bewegte (immer natürlich Windstille vorausgesetzt). Was ist nun der Mindestabstand, der zu einem rotierenden Menschen mit Selbstverstärkung einzuhalten ist? An der Figur sieht man den Worstcase: Der Rotierende befindet sich im Punkt A, der sich Annähernde im Punkt B. Der Mindestabstand beträgt also zwischen 2m und $2*3,2+2 = 8,4$ m. Um auf der sicheren Seite zu sein, empfiehlt sich also ein Mindestabstand von 8,4 m, insbesondere dann, wenn die Rotationsgeschwindigkeit v hoch ist. Im Grenzfall, dass $v = c$ (Lichtgeschwindigkeit) ist, gilt: Ist der Rotierende im Punkt A, erhält ein Beobachter im Punkt B diese Information nach $(2*3,2+2)/c \approx 2,8*10^{-8}$ Sekunden. Der Halbkreis von A nach A' hat die Länge $r*\pi = 3,2*\pi \approx 10,05$ m. Der Rotierende ist also nach $10,05/c \approx 3,34*10^{-8}$ Sekunden in A'. Dies stellt der Beobachter in B nach $2/c \approx 6,67*10^{-9}$ Sekunden fest. Wenn die Genauigkeit der Uhr des Beobachters nun aber nur bei 1 ms (= 10^{-3} Sekunden) liegt, so erkennt man, dass für ihn nicht entscheidbar ist, ob sich der Rotierende im Punkt A oder A' befindet. Für den Beobachter

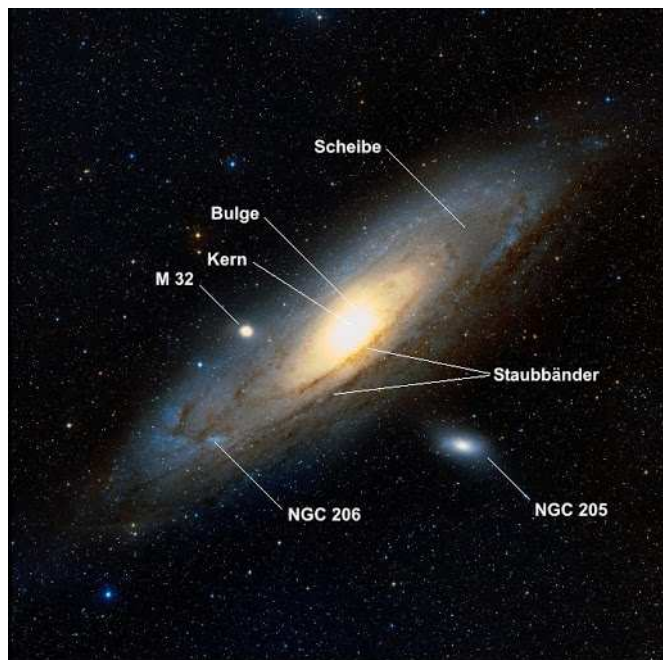
befindet sich der Rotierende auf allen Punkten des Rotationskreises gleichzeitig. Das macht klar, dass Menschen, die keine Atomuhr mit sich führen, in jedem Fall den Mindestabstand von 8,4 m einhalten sollten.

Obige Überlegungen galten für den Fall $r=3,2$ m, was ja der Grenzradius für die Rotationsgeschwindigkeit $v = 30$ km/h ist. Wenn v kleinere Werte annimmt, reduziert sich r und damit der Abstand, für größere Werte erhöht er sich. Es gilt allgemein folgende Formel für den Mindestabstand $D(v)$ eines Beobachters:

$$D(v) = 2 + v \cdot 20 / (30 \cdot \pi) \text{ [m]} \quad (2)$$

(wobei v in km/h angegeben wird). Im Fall $v = 0$ ergeben sich die bekannten 2 m, im Fall $v=30$ km/h die oben berechneten 8,4 m und im Fall $v = c = 1.079.252.849$ km/h ergibt sich damit ein Mindestabstand von $D(c) = 2 + 1.079.252.849 \cdot 20 / (30 \pi) \approx 229.025$ km. Dieser Abstand ist auf der Erde nur schwer herstellbar. Ein weiterer Grund, die Kolonialisierung des Weltraums voranzutreiben.

Allerdings ist dieser Fall hypothetisch, denn neuere Forschungen zeigen, dass ein Teil des Drehimpulses über die Viruswolke abgeführt wird. Dadurch reduziert sich die Rotationsgeschwindigkeit des auf dem Kreis mit konstantem Radius Rotierenden. Er kann also nicht nur aus relativistischen Gründen nie die Lichtgeschwindigkeit erreichen. Mit der Aura passiert dabei etwas Merkwürdiges. Sie rotiert immer mehr zum Zentrum hin. Obwohl sie also eine deutlich geringere Masse als der Rotierende hat, übernimmt sie einen Großteil des Drehimpulses (hängt von der Viskosität des Schleimanteils und der Kopplung an den Rotierenden ab). Dies führt zu einer Art Bulge-Bildung, wie man sie aus dem Zentralbereich von Galaxien kennt (siehe Bild). Und bei sehr hohen Geschwindigkeiten treten Jets auf. Diese führen einen Großteil des Drehimpulses über Nord- und Südpol des Umlaufkreises des Rotierenden ab und bremsen diesen immer stärker ab. Bis der Rotierende schließlich entkräftet aufgibt. In Experimenten haben sich sogenannte Hochgeschwindigkeitskinder – im Fachjargon „rotating high speed kids“, kurz RHS-kids (nicht zu verwechseln mit ADHS) – als gefährlich erwiesen. Dies



liegt daran, dass durch die Bulgen-Bildung der Aura der Bulgen-Nordpol gerade den Mund/Nasen-Bereich eines Erwachsenen, der sich im Zentrum der Rotation befindet, treffen kann. Man kann sich leicht ausmalen, dass es in diesem Zentralbereich zu einer erheblichen Verdichtung des Viren-Materials kommt. Diese erhöhte Dosis und die hohe Rotationsgeschwindigkeit im Zentralbereich, erhöhen die Infektionsgefahr auf dramatische Weise. Was rotierende Menschen so gefährlich macht, ist, dass man im Zentrum einer Rotation stehen kann, ohne es zu wissen. Wenn nämlich der Rotationsradius die Größe des eigenen Horizonts übersteigt, ist der Rotierende nicht auszumachen. Wenn man ein Aufwirbeln des Staubs unter einem und ein beginnendes Rotieren der Luft um sich herum feststellt, ist es oft schon zu spät. Man könnte damit einen rotierenden Menschen auch als Menschen mit horizontaler Ausdehnung - und sogar durch Bulgenbildung erhöhter Größe - sehen, (im Gegensatz zum strichförmigen der ersten Überlegungsfigur, im Beispiel rotationssymmetrisch mit Radius 3,2m. Ob das auch für unser Universum gilt, ist unklar. Derzeit geht man ja von Isotropie aus, d.h. dass es keine Rotationsachse gibt. Ich erinnere aber an <http://scienceblogs.de/astrodicticum->

simplex/2012/08/30/links-oder-rechts-dreht-sich-das-universum/ . Die Analogie könnte natürlich nur eingeschränkt gelten, da es im Universum keinen Luftwiderstand gibt. Außerdem würde das Gesetz zur Erhaltung des Drehimpulses in Verbindung mit der Maximalität der Lichtgeschwindigkeit verhindern, dass es für das Universum eine Singularität mit $r=0$ gibt.

Ein Beobachter wäre im Mittelpunkt des Kreises wegen der Bulgenbildung der Viruswolke keineswegs geschützt. Dies unterscheidet das Szenario deutlich von dem eines Tornados.

Bei rotierenden Menschen tritt aber noch ein anderer Effekt auf: sogenannte Schockwellen. Im Fall der Selbstverstärkung trifft ja eine neu entstehende Wolke auf eine alte (im Abklingen befindliche). Der Vorgang ist ähnlich dem, der bei Supernovae auftritt. Bei Supernovae Ia wird z.B. eine Wolke mit der sagenhaften Geschwindigkeit von bis zu 10.000 km/s ausgestoßen. Trifft diese nun auf eine im All vagabundierende Gaswolke, so wird letztere stark komprimiert. Es kann sogar zur Sternentstehung kommen. Das ist in der Viruswolke natürlich nicht zu befürchten. Durch die Rotation treten aber periodische Stöße auf. Bei bestimmten Frequenzen, die von der Konsistenz der Wolke abhängen, treten Schwingungsvorgänge und Eigenrotationen ein, die zu einer Erhöhung der Temperatur der Wolke führen. Das führt zu dem erstaunlichen Effekt, dass bei genügend hoher Geschwindigkeit der Tröpfchenanteil verdampft und die Viren schnell absterben. Menschen mit sehr hoher Rotation können daher überraschenderweise als ungefährlich eingestuft werden. Die Grenz-Rotationsgeschwindigkeit, ab der das gilt, ist im Falle von Corona Gegenstand weiterer Forschung. Unterhalb der Grenz-Rotationsgeschwindigkeit tritt ein gegenteiliger Effekt auf: Tröpfchen verbinden sich zu größeren Tröpfchen, sinken damit schneller zu Boden, erhöhen auf diese Weise aber die Gefahr von Schmierinfektion aufgrund längerer Verdunstungszeit der Tröpfchen. Am Boden Liegende sollten also Stellen meiden, an denen vor kurzem ein Mensch mit moderater Geschwindigkeit rotiert ist.

Offene Fragen

Der oben bereits erwähnte Wissenschaftler wies auf folgende offene Fragen hin:

- 1) Welchen Einfluss hat die Corioliskraft der Erde?
- 2) Welchen Einfluss hat die Landschaftstopologie? Gibt es etwa in San Marino wegen der bergigen Topologie bezogen auf die Gesamtbevölkerung deshalb so viele Infizierte (17.094 pro 1 Million)?

© copyright 2020: *Corona Research Center Lütten-Klein (CRC Lütten-Klein®)*