

Erdkrümmung beobachten

**zu Wasser
zu Lande
in der Luft**

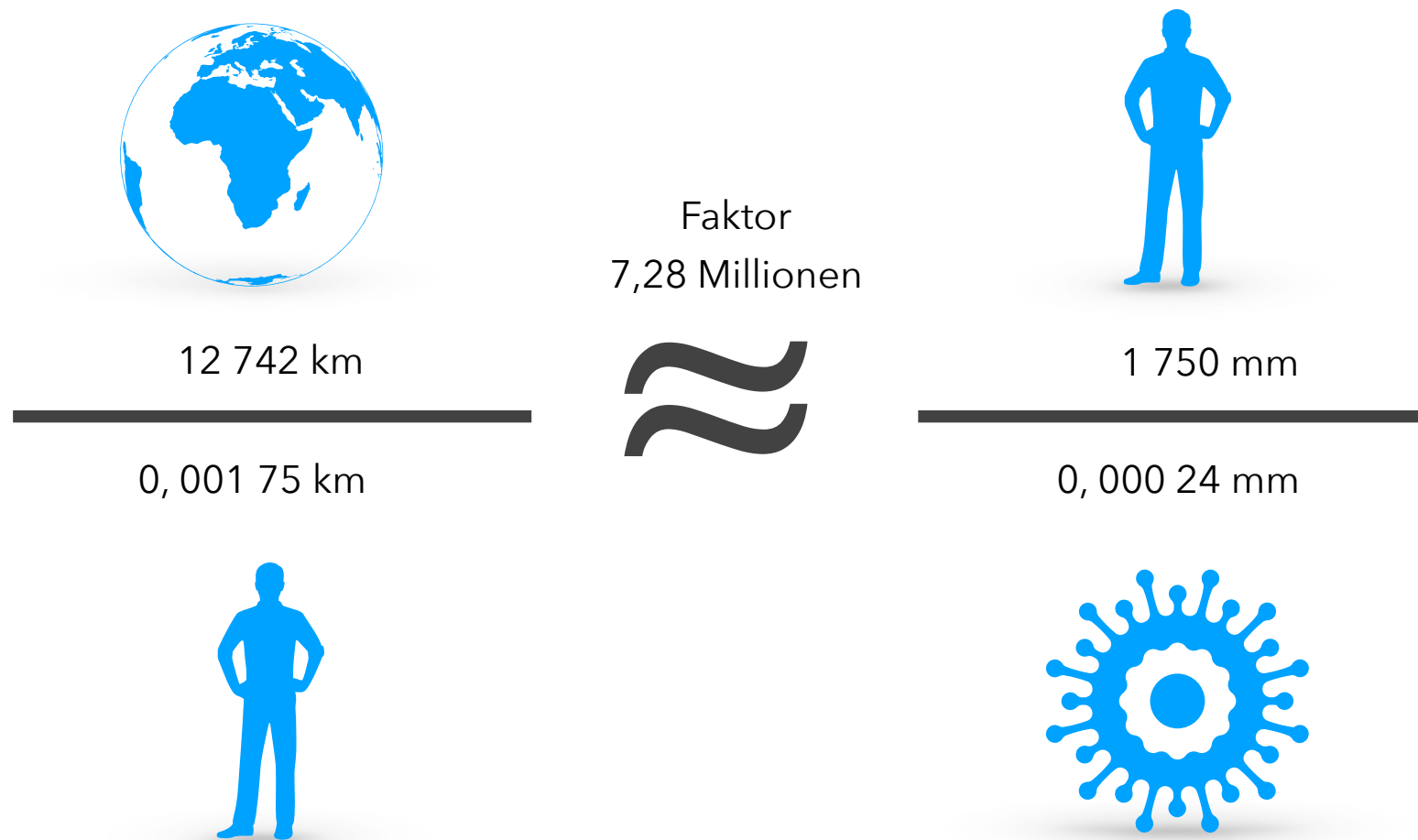


1: ERDE UND MENSCH IM VERGLEICH

Können wir die Effekte der Erdkrümmung sehen, wo wir Menschen im Vergleich zum Erddurchmesser mehr als 7-Millionen mal kleiner sind?

Das ist zufällig ungefähr das Verhältnis von der Höhe eines Erwachsenen zur „Größe“ eines typischen Virus!

Wenn man bedenkt, was so winzige Viren im Menschen anrichten können, so müssen wir Menschen die Erde schonend behandeln.



Weil die Erde im Vergleich zu uns so riesig ist, erscheinen uns Wasseroberflächen ohne Wellen perfekt flach.

Doch schauen wir genauer mit einem Fernglas hin, zeigen sich die Effekte der Erdkrümmung am Wasser schon ab wenigen Kilometern.

Beobachten wir also die Erdkrümmung selber:

- am Meer oder einem großen See
- auf einer Bergwanderung
- aus dem Flugzeug und höher

2: SICHTWEITE BIS ZUM WASSER-HORIZONT

Die Sichtweite s in Kilometern bis zum Wasser-Horizont der Erde ergibt sich allein wegen deren Kugelkrümmung aus der Augenhöhe h in Metern über dem Wasser:

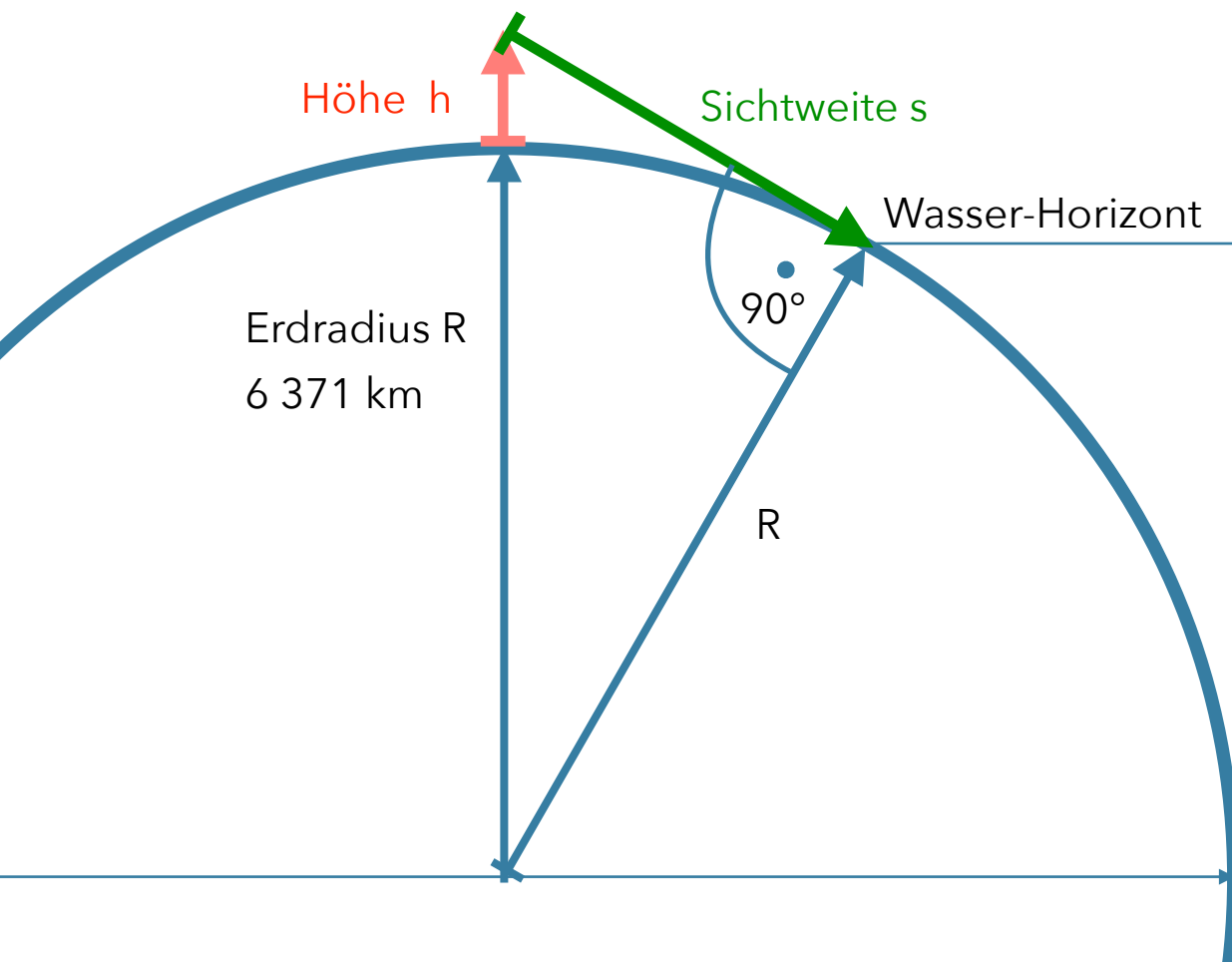
$$s_{[km]} \approx 3,57 * \sqrt{h_{[m]}}$$

Die Höhe sei im Vergleich zu Erde sehr klein: $h < 100\,000\text{ m}$ (100 km)



Die horizontnahe Lichtbrechung wird hier nicht betrachtet, sie verlängert die Sicht nur etwas und ist darüber hinaus von Temperaturschichtungen der Luft abhängig.

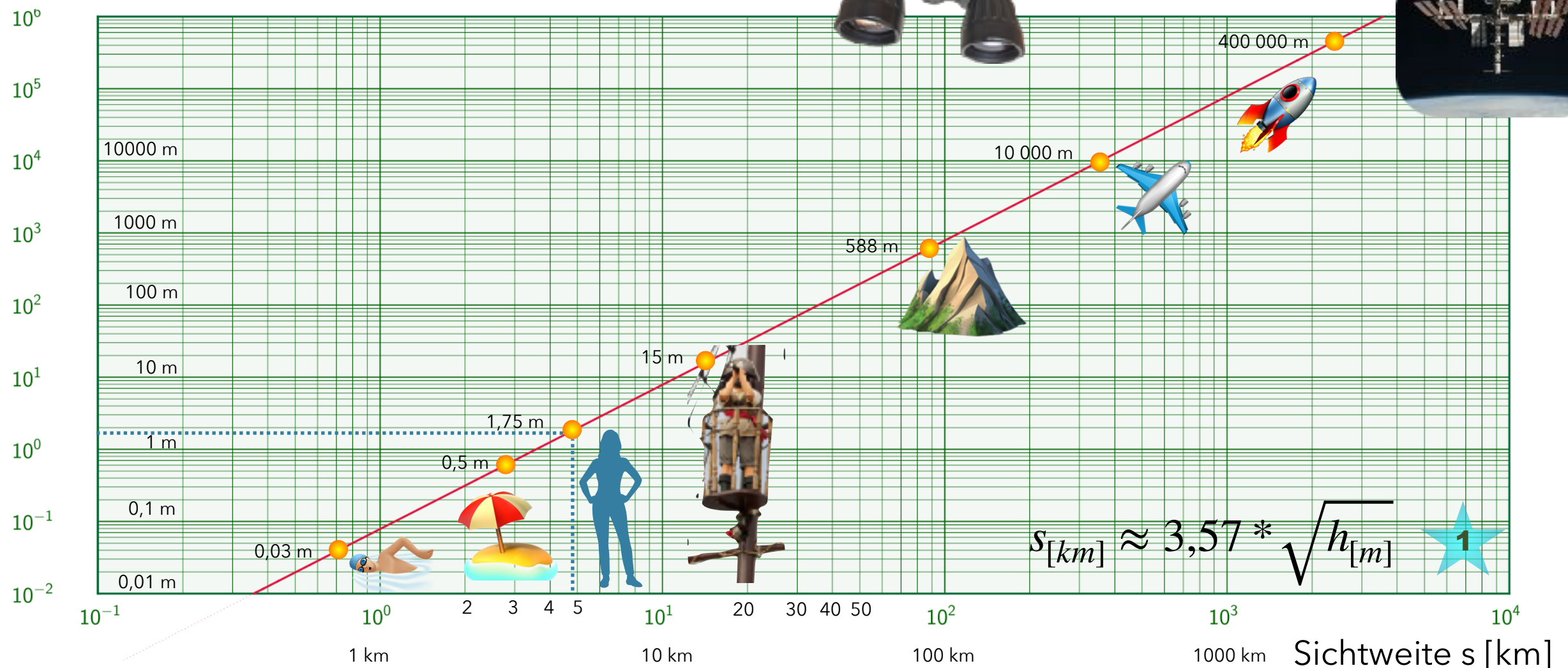
Abstand zum
Horizont?



Aus der Höhe $h = 3\text{ m}$ über dem Wasser betrachtet gleitet das Segelboot kurz vor dem Wasser-Horizont in $s = 6\text{ km}$ Entfernung vorbei. Je weiter die kleinen Schiffe vom Horizont weg sind, um so näher sind sie uns.

3: WASSER-HORIZONTE

$$\text{Höhe } h \text{ [m]} \quad h_{[m]} \approx s_{[km]}^2 / 12,74 \quad \star 2$$



Faust-Formel 1 und Umkehrung 2 sind hier in einem doppelt-logarithmischen Diagramm nicht-linear dargestellt, um den Zusammenhang über mehrere Größenordnungen zu zeigen.

Ein Schwimmer sieht weniger als 1 km weit bis zum Wasser-Horizont, ein am Strand stehender Mensch rund 4-5 km, Seeleute auf ihrem schwankenden Schiffsausguck in 15 Metern Höhe immerhin 14 km.

Vom Berg Televrina ($h=588$ m) kann man 87 km über's Meer sehen, vom Flugzeug rund 350 km, und von der Raumstation ISS knapp 2250 in jeder Richtung, also einen Erdkreis von 4500 km Durchmesser.

4: HINTERM HORIZONT GEHT'S WEITER

In der Praxis sehen wir Schiffe und Inseln auch hinter dem mit Formel 1 berechneten Wasser-Horizont, wenn diese hoch genug aufragen.

Während ein Segelschiff schon lange vom „Wasserbauch“ der Erde verdeckt wird, sind hohe Berge einer noch fernen Insel zu sehen.

Die maximale Sichtungs-Distanz d ist die Summe der einzelnen Horizont-Abstände $s1$ und $s2$, ablesbar aus dem Diagramm Seite 3 mit den Höhen $h1$ und $h2$:

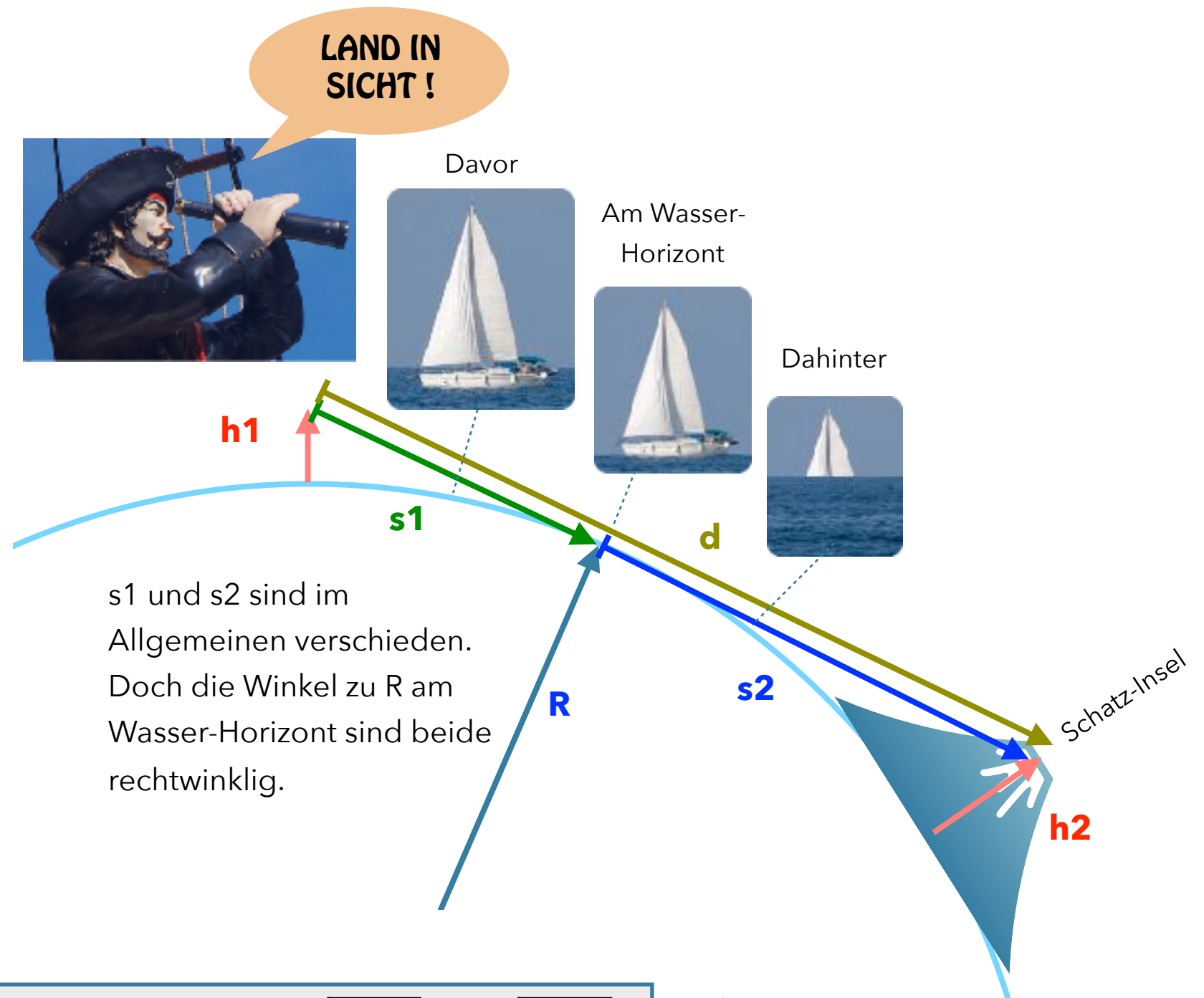
$$d = s1 + s2$$

3

Oder direkt zu berechnen aus den gegebenen Höhen $h1$ und $h2$:

$$d_{[km]} \approx 3,57 * (\sqrt{h1_{[m]}} + \sqrt{h2_{[m]}})$$

4



5: DER IRDISCHE WASSERBAUCH

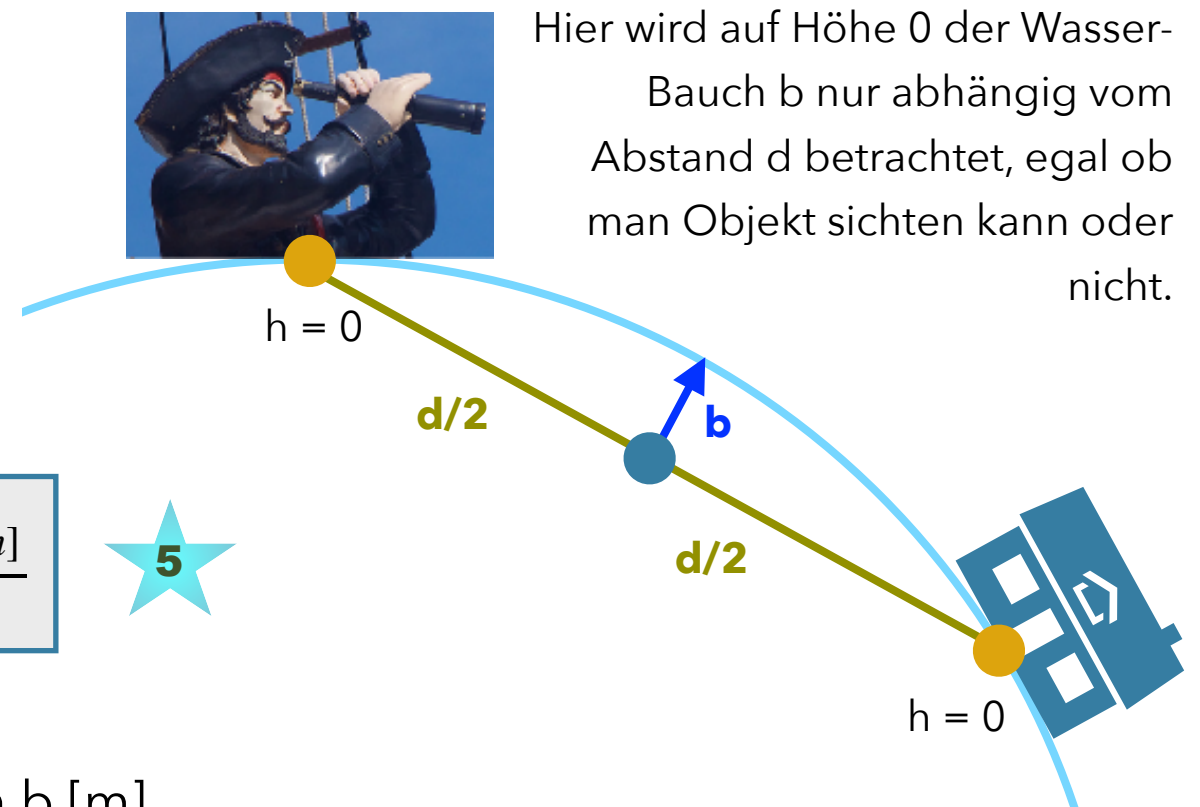
Auf der Erd-Kugel ist die Wasser-Oberfläche schon auf wenigen Kilometern Strecke unebener als man meint - der „Wasserbauch“ der Erde verdeckt deshalb dahinter-liegende Objekte.

Die Dicke dieses Bauches b in Metern kann abhängig von der beobachteten Entfernung $d < 1000$ km hiermit ganz gut abgeschätzt werden:

Bei kleinen Abständen d ist der Bauch b klein, nimmt aber dank dem Quadrat von d überraschend flott zu:

Bei $d = 1$ km kommt man auf ein nur Finger-breites Bäuchlein $b = 0,02$ m, bei 8 km (Chiemsee: Chieming - Fraueninsel) sind es schon 1,25 Meter. Entlang der Länge des Attersees von 19 km ist der Wasserbauch schon mehr als 7 Meter dick!

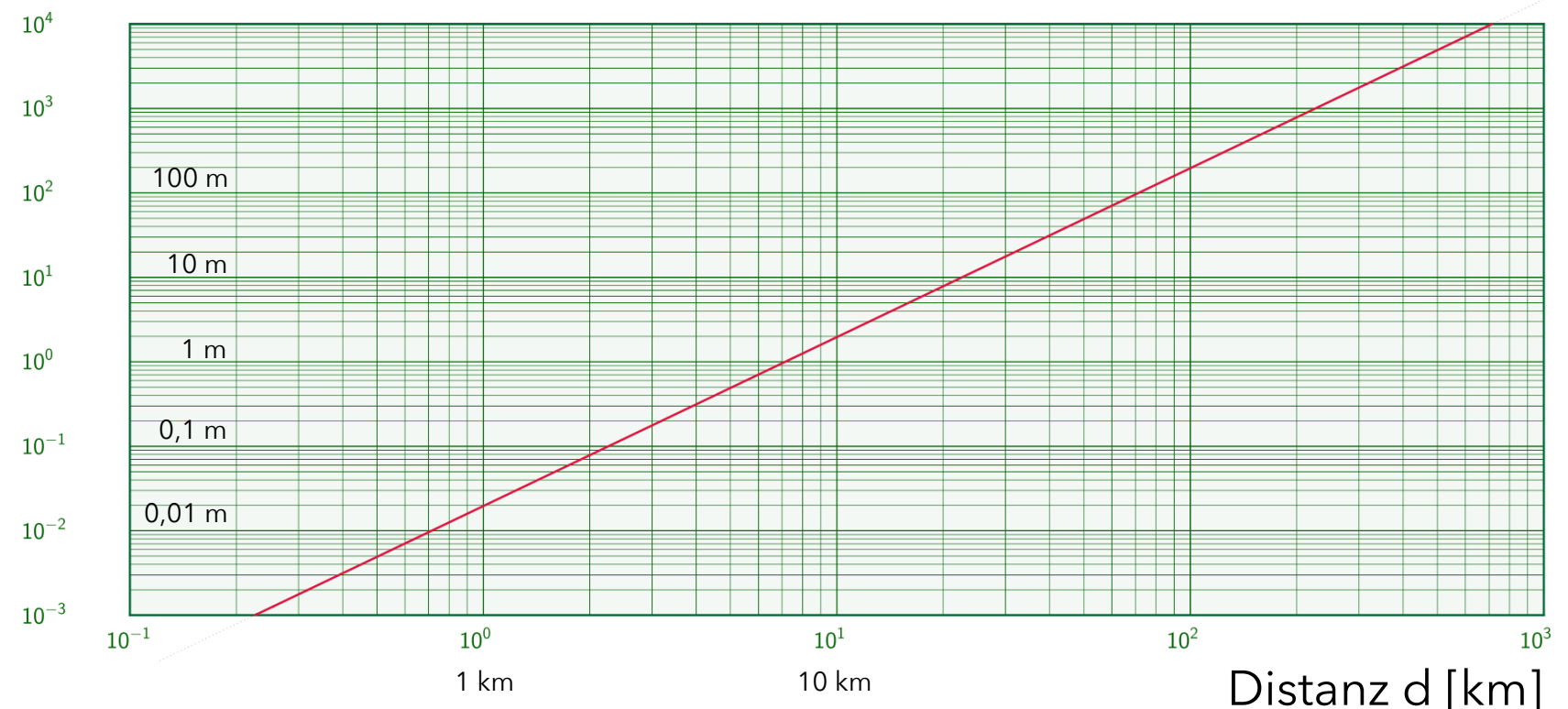
Dennoch schwappt nix davon, das gerundete Wasser denkt nicht daran abzuspecken. Denn die auf der Erdkugel zur Mitte zeigende Schwerkraft und der Druckausgleich im Wasser zwingt es in die Kugel-Form.



$$b_{[m]} \approx \frac{d_{[km]}^2}{51}$$

5

Wasserbauch b [m]



6: BEIM BADEN AM MEER ODER EINEM GROßEN SEE (CHIEMSEE, ATTERSEE)

Unten am Wasser sitzend beobachte mit dem Fernglas (NIE damit in die Sonne sehen, Erblindungsgefahr!) Schiffe, Küsten und Inseln. Weiter als 3 km entfernt werden sie von unten vom Wasser teils verdeckt.

Geh auf einen Hügel ~ 15 m hoch (wie Schiffs-Ausguck): die meisten Schiffe und Inseln tauchen wieder ganz auf. Wenn das nicht reicht, nimm aus Landkarte Abstand zur Insel und ermittle mit Formel 1 die Höhe, die man mindestens erklimmen muss. Versuche die Häuser direkt an der fernen Küste bis zum Wasser hinunter wieder zu sehen. Oft blockieren Luftspiegelungen die Sicht bis ganz unten, besonders wenn es heiß ist, daher am besten Vormittags schauen.



7: BEOBACHTUNGEN AUF EINEM BERG AM MEER



Besteige einen Berg am Meer, hier den Televrina auf der Insel Lošinj an der Adria: mehr Inseln und Berge werden sichtbar in bis zu 87 km Entfernung. Die 35 km entfernte Südspitze Istriens taucht auf.

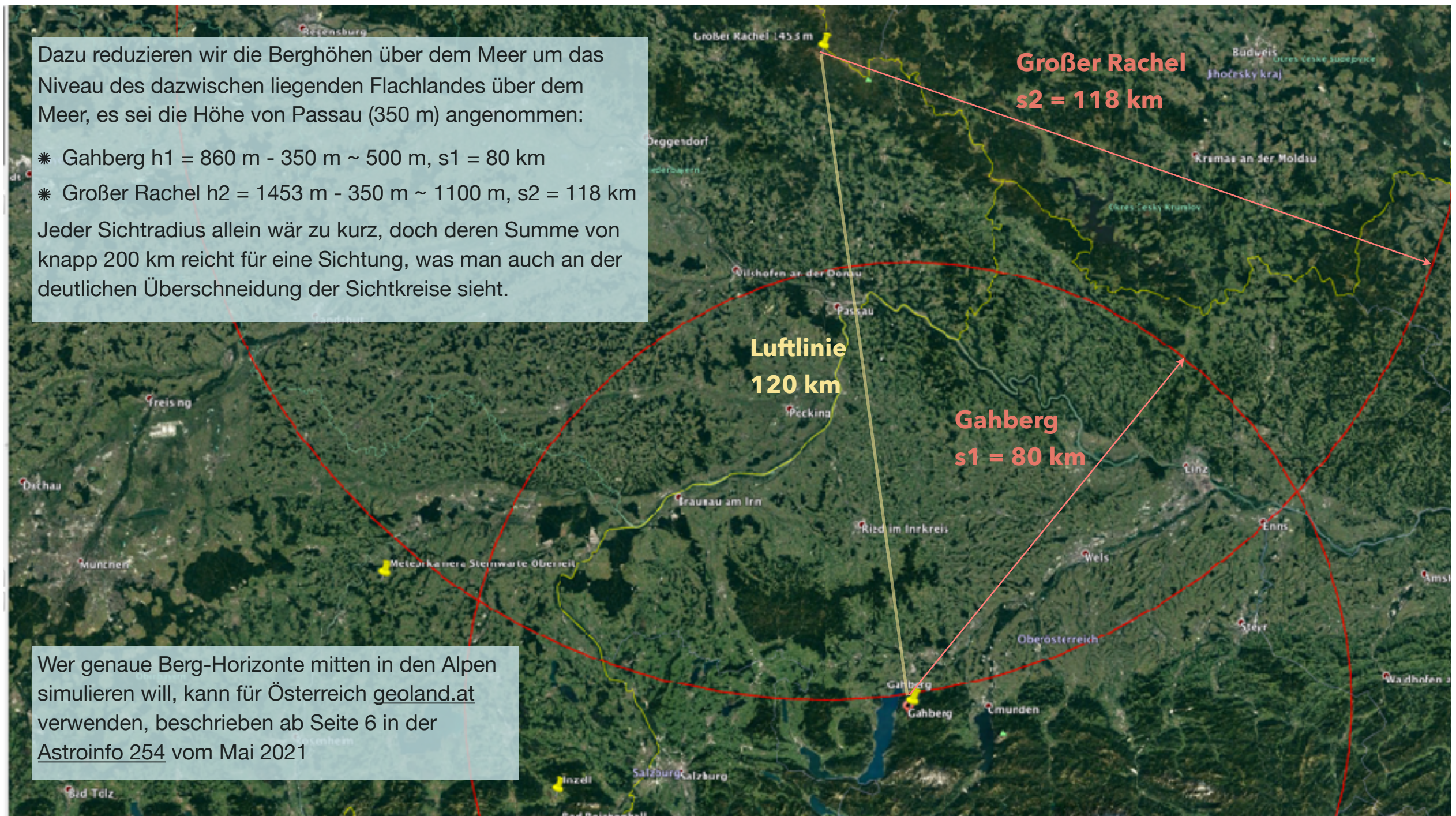
Die vom Strand in Mali Lošinj betrachtete teils verdeckte Insel Susak ist jetzt komplett zu sehen, obwohl sie hier mit 19 km sogar noch weiter weg liegt.

Auf der Landkarte sind auch die Sichtkreise von Mali Lošinj für einen stehenden Erwachsenen (5 km) und einen Schiffs-Ausguck (14 km) eingezeichnet.



8: BEOBACHTUNGEN IN DEN BERGEN AM ALPENRAND

In den Alpen wird Sicht von anderen Bergen beschränkt. Einfacher ist der Blick vom nördlichen Alpenrand nach Norden über's Flachland. Kann man vom 860 Meter hohen Gahberg höhere Berge des Bayerischen Waldes in 120 km Entfernung erblicken?



9: BEOBACHTUNGEN VON HOHEN BERGEN UND DEM FLUGZEUG

Aus typischer Reiseflughöhe von 10 000 m reicht der Blick 357 km weit. Erspähe mit dem Fernglas Landmarken wie Küsten und Berge: Über dem Gahberg fliegend müsste man bis zur Adria sehen, auch den Berg Televrina. Selbst der 560 km entfernte Montblanc (4810 m) könnte hinter dem Horizont aufragen, da sich dessen Sichtkreis noch mit dem unsrigen überlappt. Auf dem Großglockner (3800 m) hingegen sieht man den Montblanc nicht mehr, da sich die Sichtkreise beider Berge nicht überlappen. Obendrein liegen etliche die Sicht versperrende Bergrücken dazwischen.



10: BEOBACHTUNGEN AUS DER INTERNATIONALEN RAUMSTATION

Bei rund 400 km umkreist die Internationale Raumstation unseren Planeten. Von dort kann man 2250 km in jeder Richtung blicken, hat also einen Gesichtskreis-Durchmesser von 4500 km, die Astronauten überblicken über dem Gahberg fast ganz Europa. Der Gesamt-Blick darauf ist fast 180 Grad groß, zum Rand sehr stark verkleinert, der [ISS Live-View](#) zeigt den zentralen Teil dieses grandiosen Ausblicks.





- * Bilder + Videos zur Erdkrümmung vom Autor
www.dufter.de/Alfred/Erdkrueemmung/index.html
- * Wikipedia mit netten Aufnahmen, z.B. ein sich entfernendes Schiff
www.wikipedia.org/wiki/Erdkrümmung
- * Exakte „Erdbauch“-Formel auch für große Distanzen mit Rechner
http://long-tom.de/sonstiges_erde.html
- * Mehrere Rechner, u.a. zur Sichtweite
<https://rechneronline.de/sehwinkel/sichtweite.php>
- * Peakfinder zeigt und benennt die Berge um einen Standort
<https://www.peakfinder.org>
- * Punktgenaue Horizontberechnung für Österreich ab Seite 6
<https://www.astronomie.at/ai/aipdf.asp?ausgabe=254>
- * Alexander Gerst blickt ergriffen von ISS auf Erde
<https://reportage.wdr.de/alexander-gerst>
- * ISS-Liveview mit Ausschnitt der Aussicht
<https://video.ibm.com/channel/iss-hdev-payload>