

Interferenz zwischen Schwachwindwellen und *Thermik*



Martin Füllgraf



Motivation für das Thema

- Überraschende Phänomene ergründen
- Lösungsansätze aufstellen
- Ansätze in der Praxis prüfen
- Flugwegoptimierung durchführen
- Bessere Flugergebnisse erklären können



Überraschende Phänomene ?

Vario & Fahrt



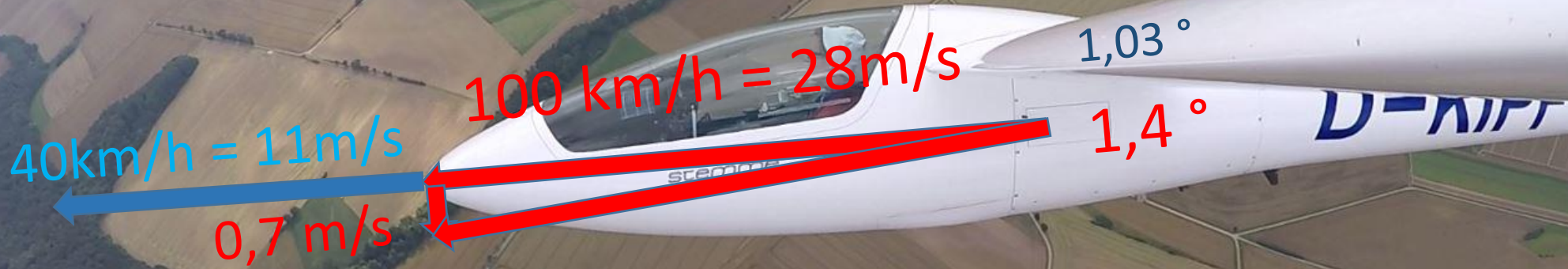
Grundlagen zur Spurendeutung

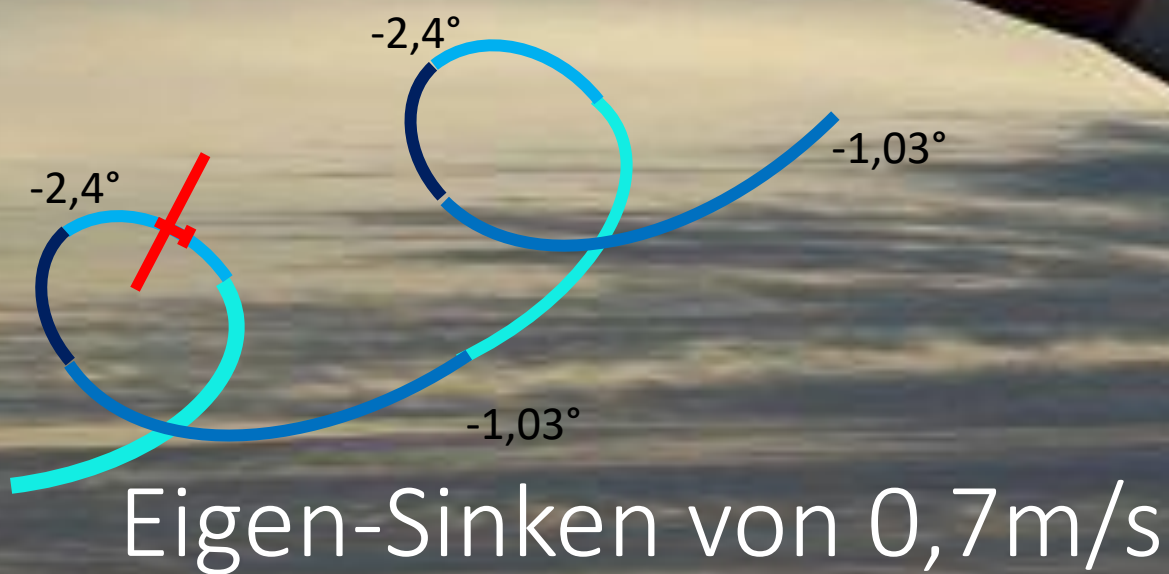
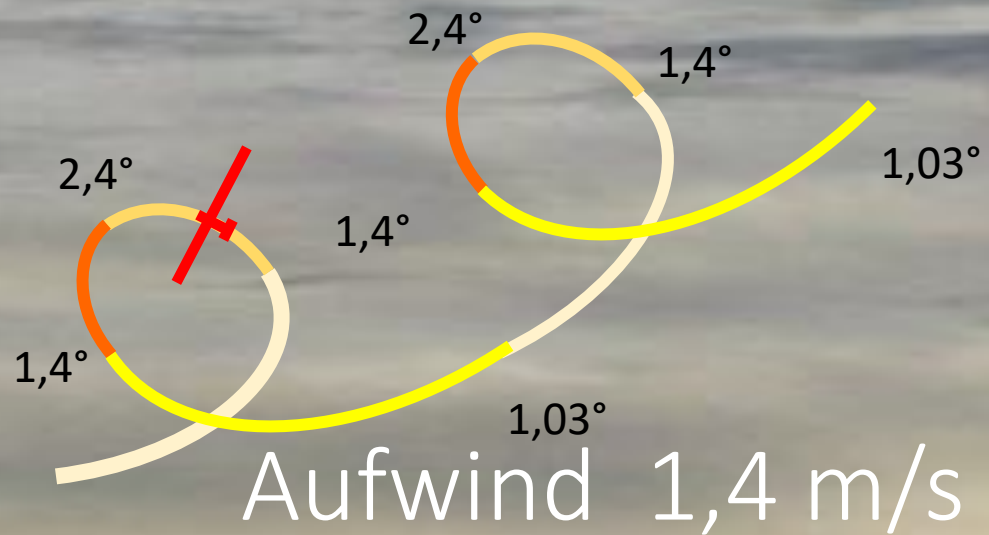
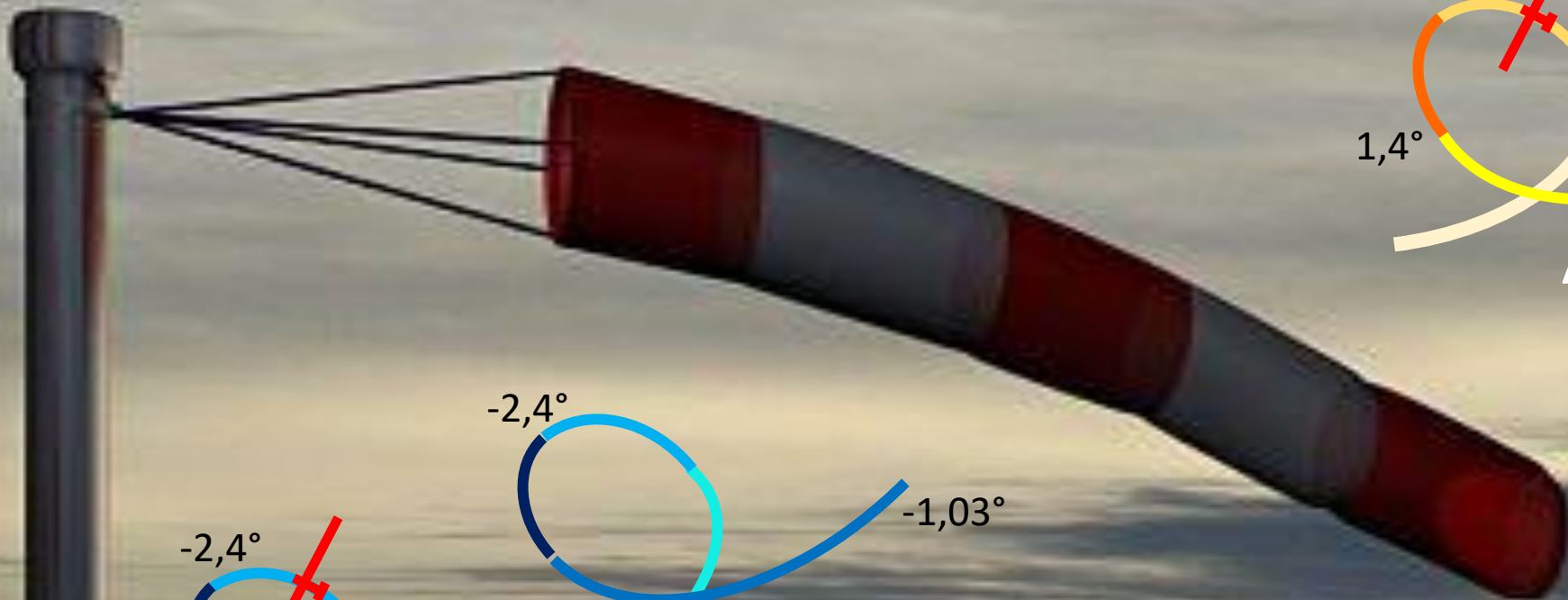


Gegenwind

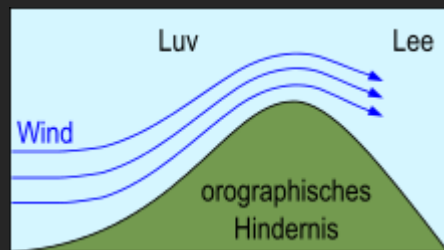


Mitwind





Hangaufwind



Hangaufwind

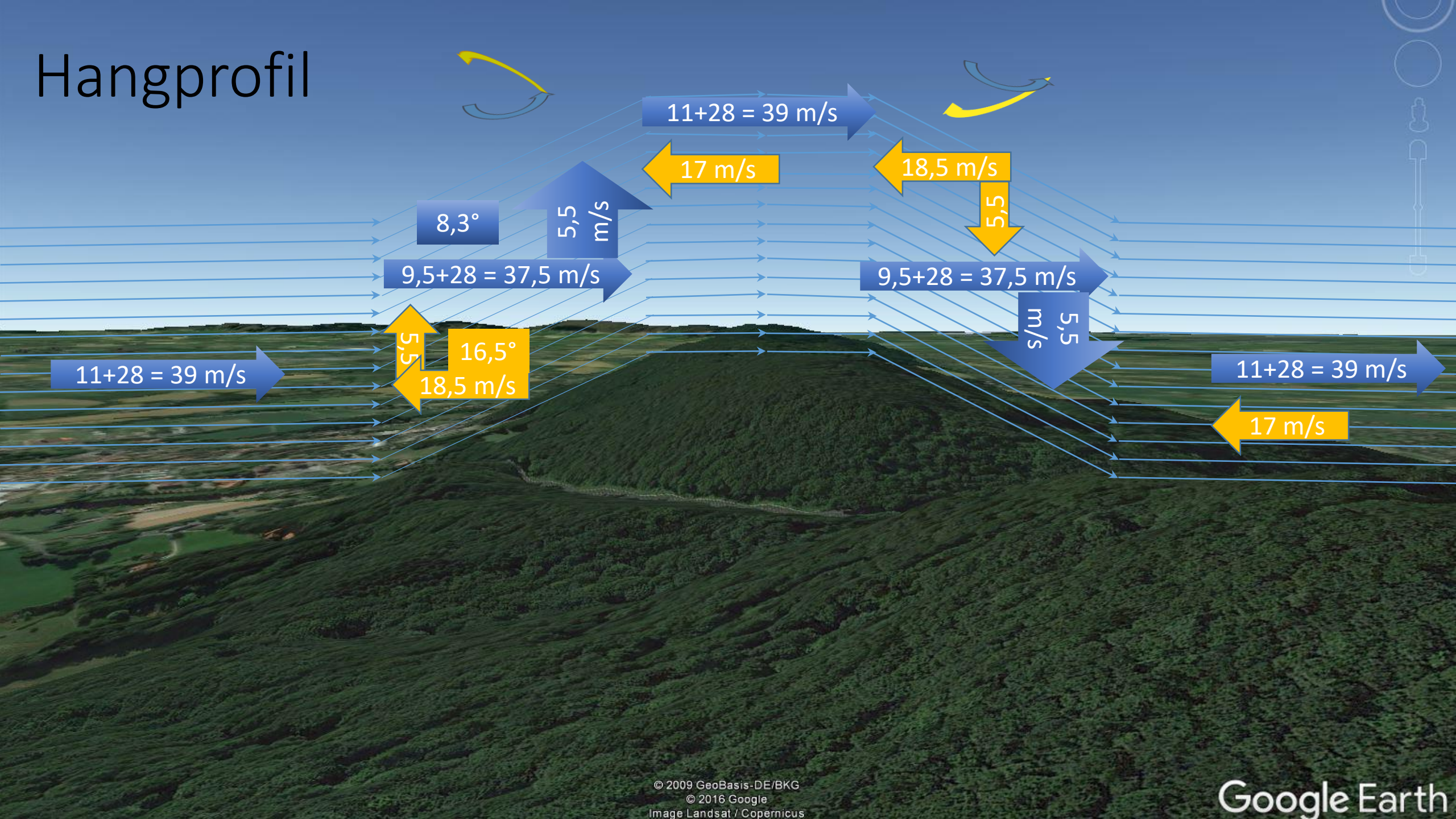
Schnathorst
Hangform und Windrichtung

Aufwind-
Schwerpunkt

Aufwind-
Schwerpunkt

Basis-DE/BKG
6 Google

Hangprofil



Hangflug

Flugspuren Reinhard Schramme 16-04-2016

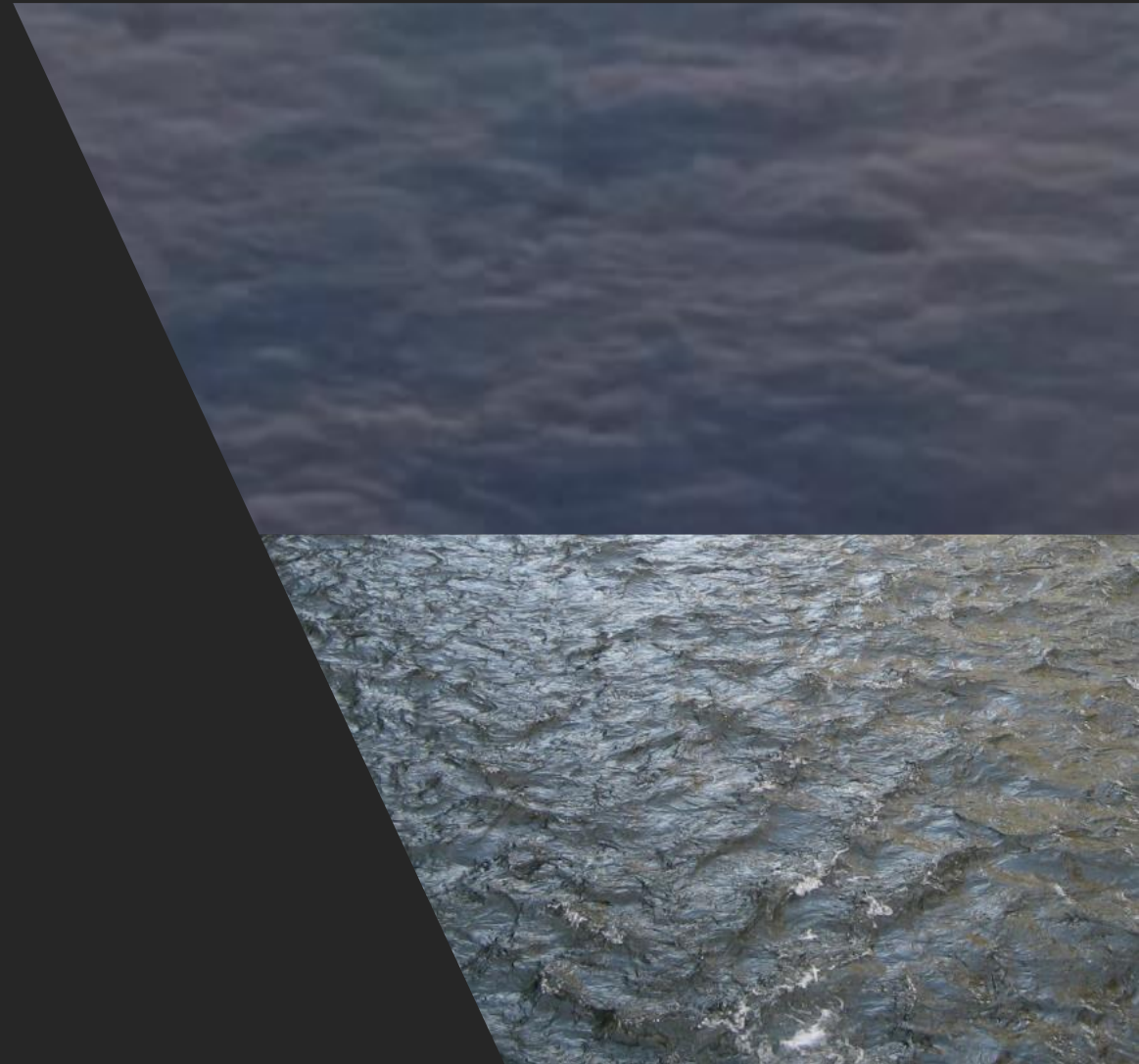
225° 49km/h

- Abhängig von der Hang-Steigung
- Abhängig von der Windrichtung
- Abhängig von der Windgeschwindigkeit
- Abhängig von der Flugrichtung



Harzwellen

Bei schwachen Windgeschwindigkeiten



Ackerwelle am 13.11.2016

Picht, Reimann u. Füllgraf

Wind 129° 23 Km/h in 2500 MSL



Ackerwelle am 13.11.2016

Picht, Reimann u. Füllgraf

Clausthal-Zellerfeld

Schulenberg im Oberharz

E010°30'00"

Altenau

Schierke

Elen

Braunlage

Gibt es einen Zusammenhang zwischen den Flugspuren und der Bodenkontur?

Ist das Steigen/Fallen an identischen Positionen zu finden?

Ist das Steigen/Fallen auch nach Stunden an der gleichen Position zu finden?

Wie genau grenzen sich die Steig- und Fallgebiete ab?

Kann die Schwachwindwelle optisch sichtbar sein?

N51°45'00"

131°/23km/h

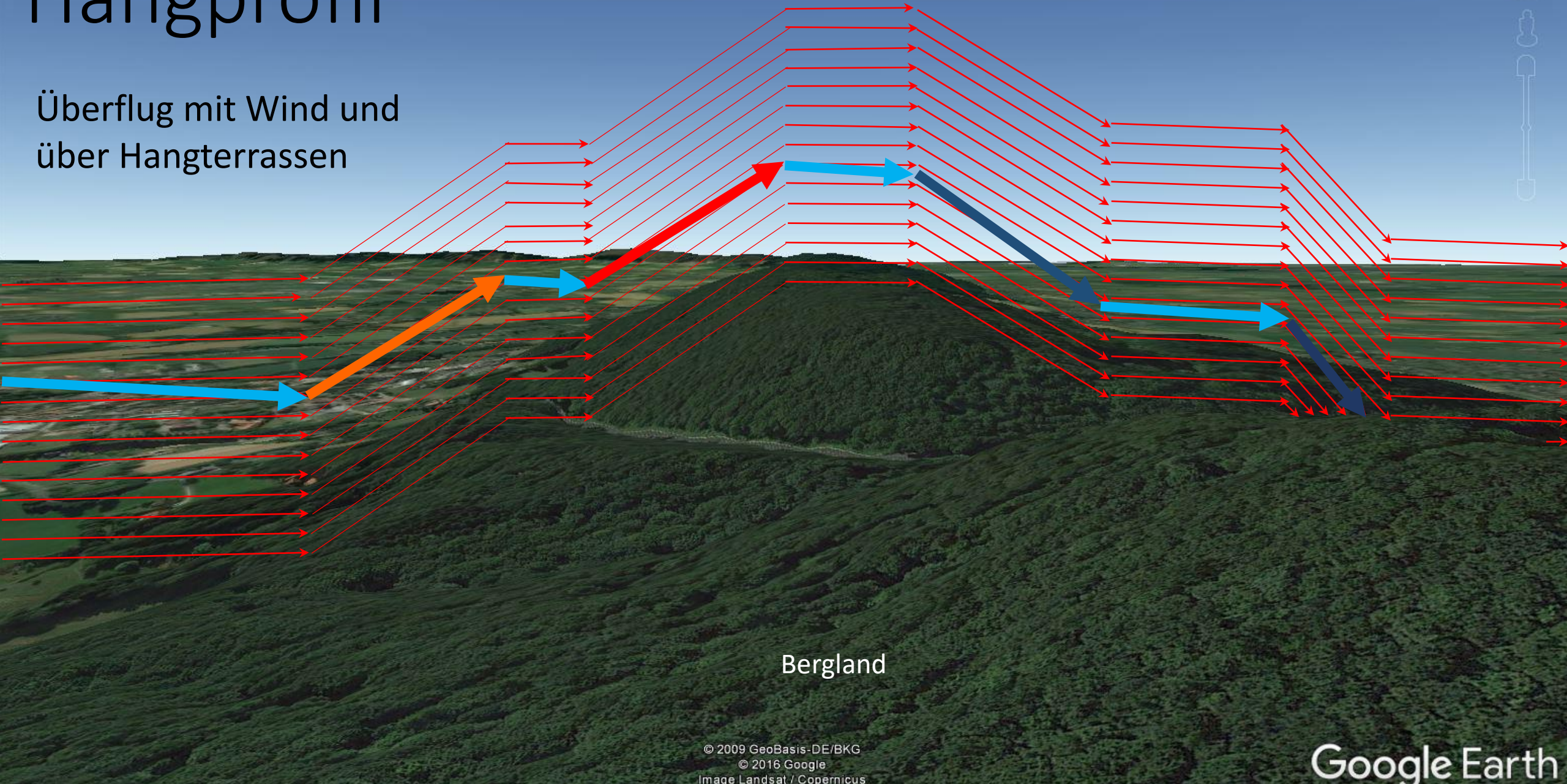
2,0km

Steigen/Fallen in Abhängigkeit der Bodenkontur?



Hangprofil

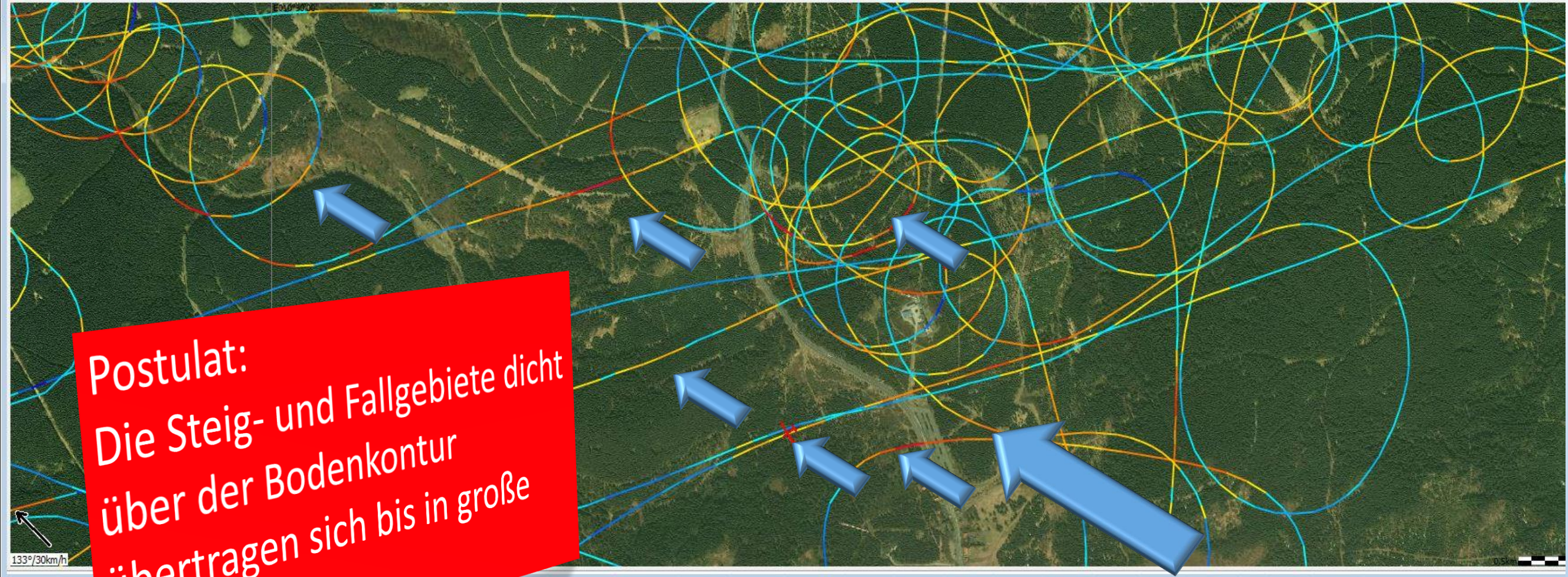
Überflug mit Wind und
über Hangterrassen



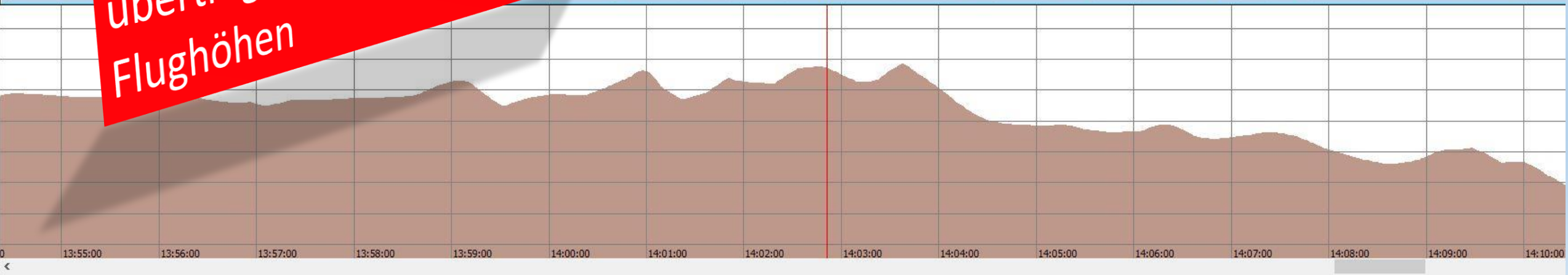
Bergland

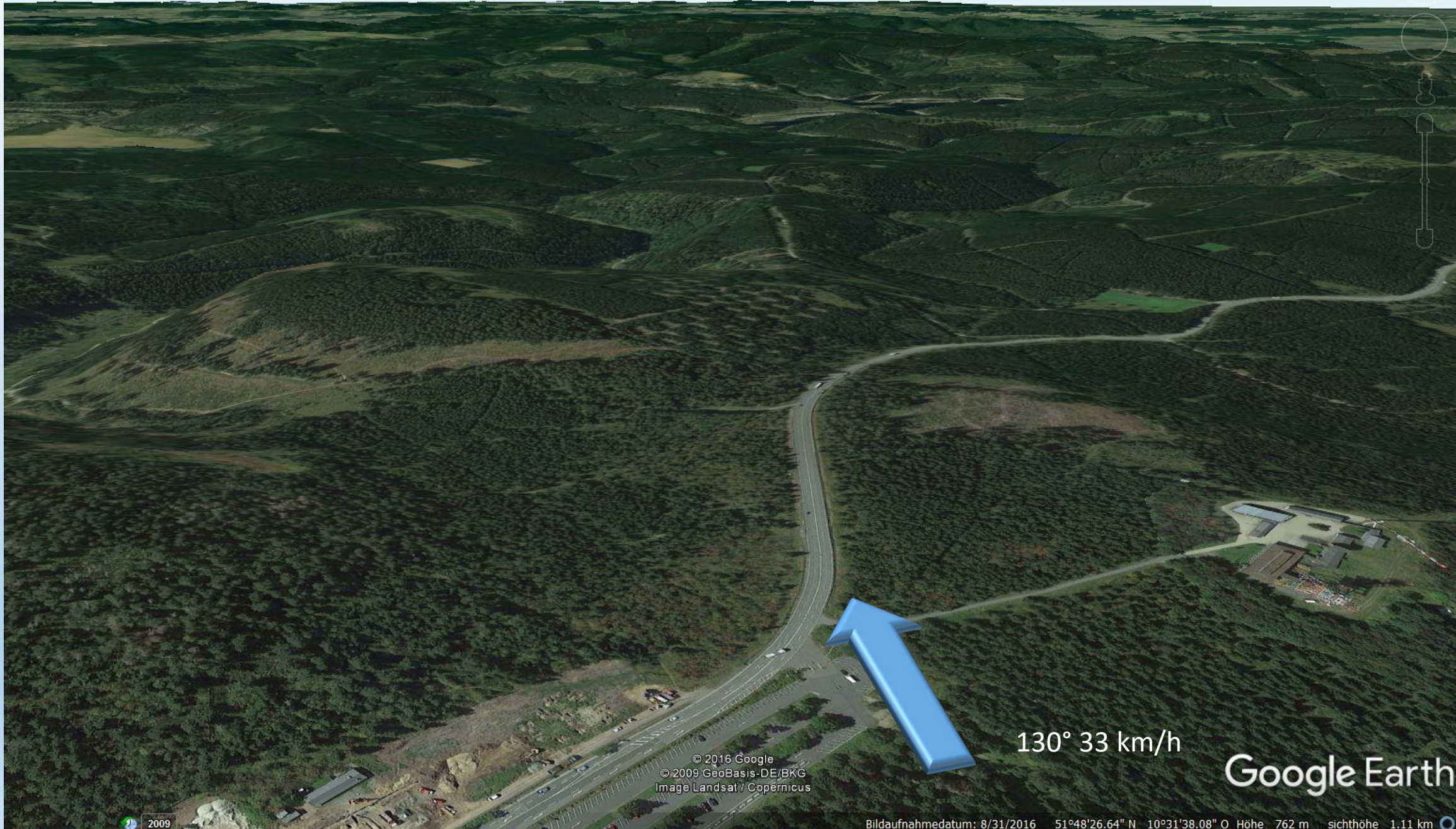
Der Blick
von oben





Postulat:
Die Steig- und Fallgebiete dicht
über der Bodenkontur
übertragen sich bis in große
Flughöhen

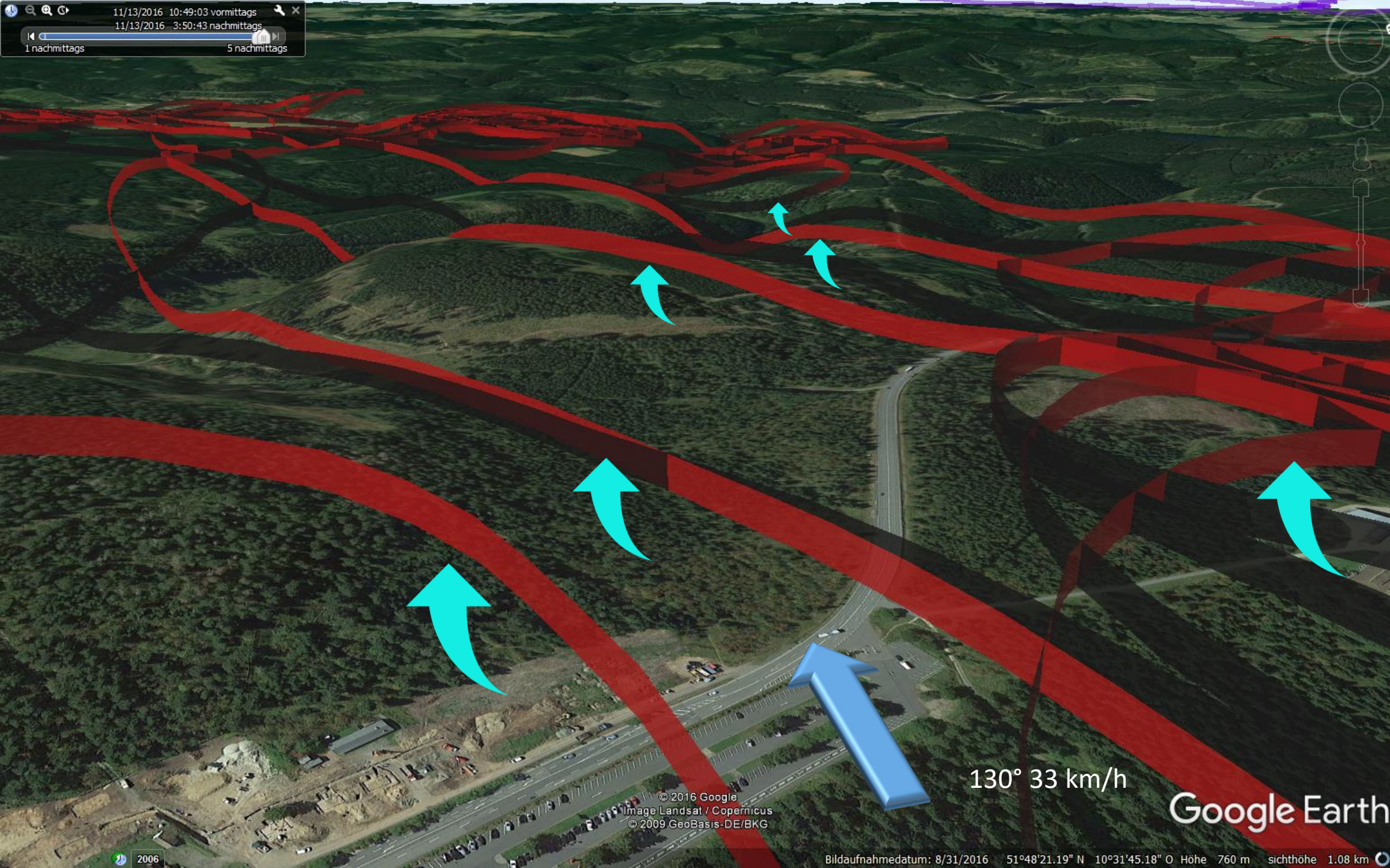




130° 33 km/h

Google Earth

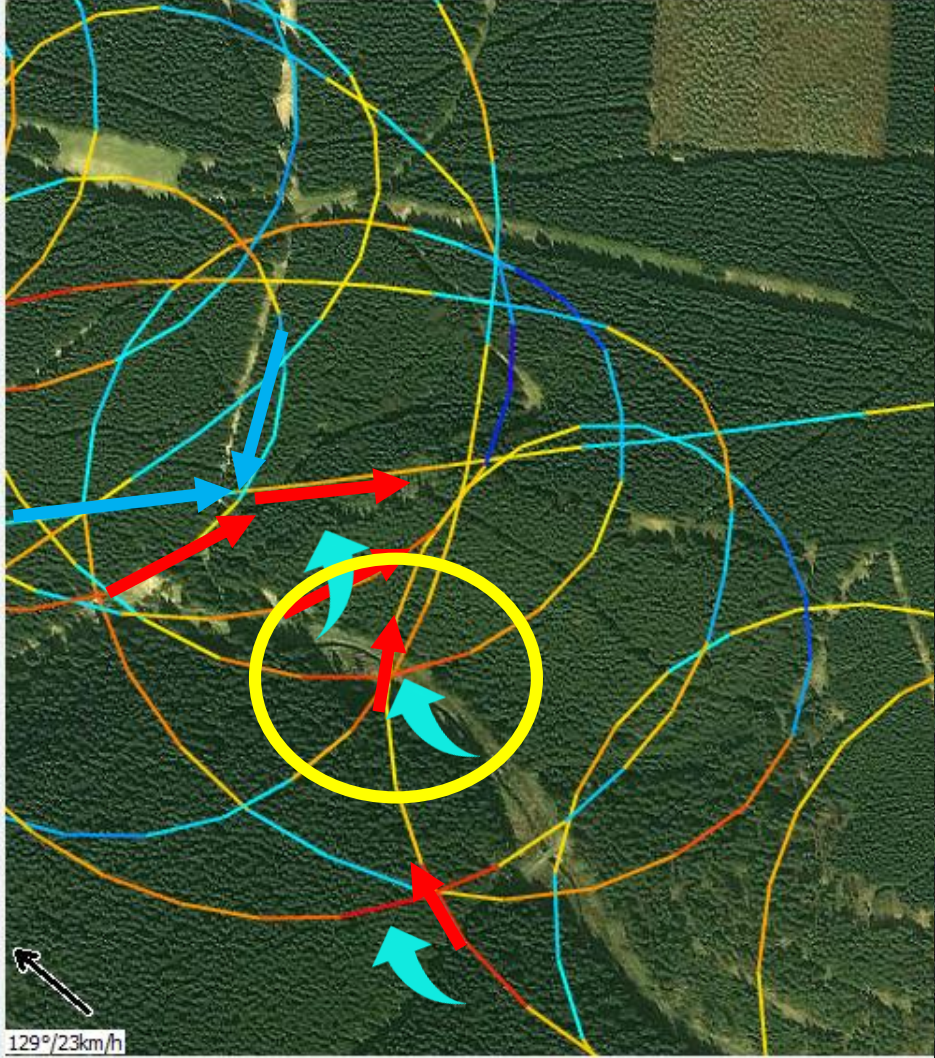
© 2016 Google
© 2009 GeoBasis-DE/BKG
Image Landsat / Copernicus



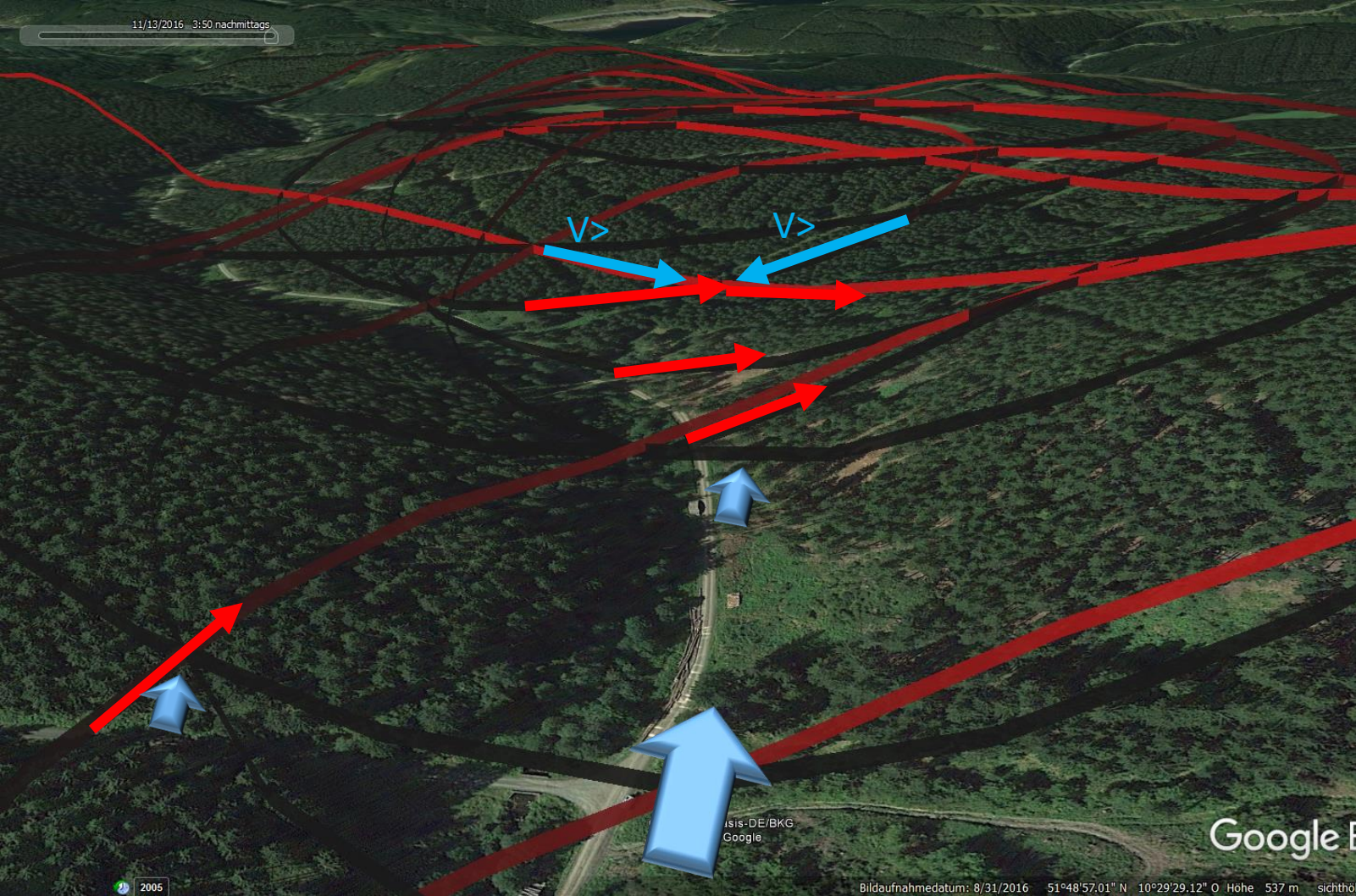
130° 33 km/h

Google Earth

© 2016 Google
Image Landsat / Copernicus
© 2009 GeoBasis-DE/BKG



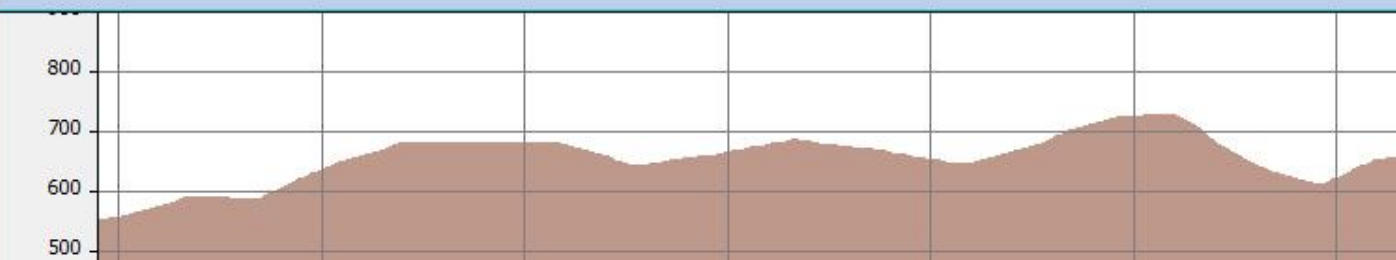
129°/23km/h



isis-DE/BKG
Google

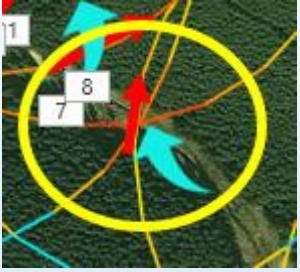
Bildaufnahmedatum: 8/31/2016 51°48'57.01" N 10°29'29.12" O Höhe 537 m sichthö

WKZ	Zeit	Höhe	Vario	VGd.	dt	dH	AVario	AGsp	Entf.	Gleitz.	Dist.Aufg.	Vt
D7	13:11:23	2545m	2,8m/s	124km/h	00:11:58	-40m	-0,1m/s	111km/h	22,1km	553		

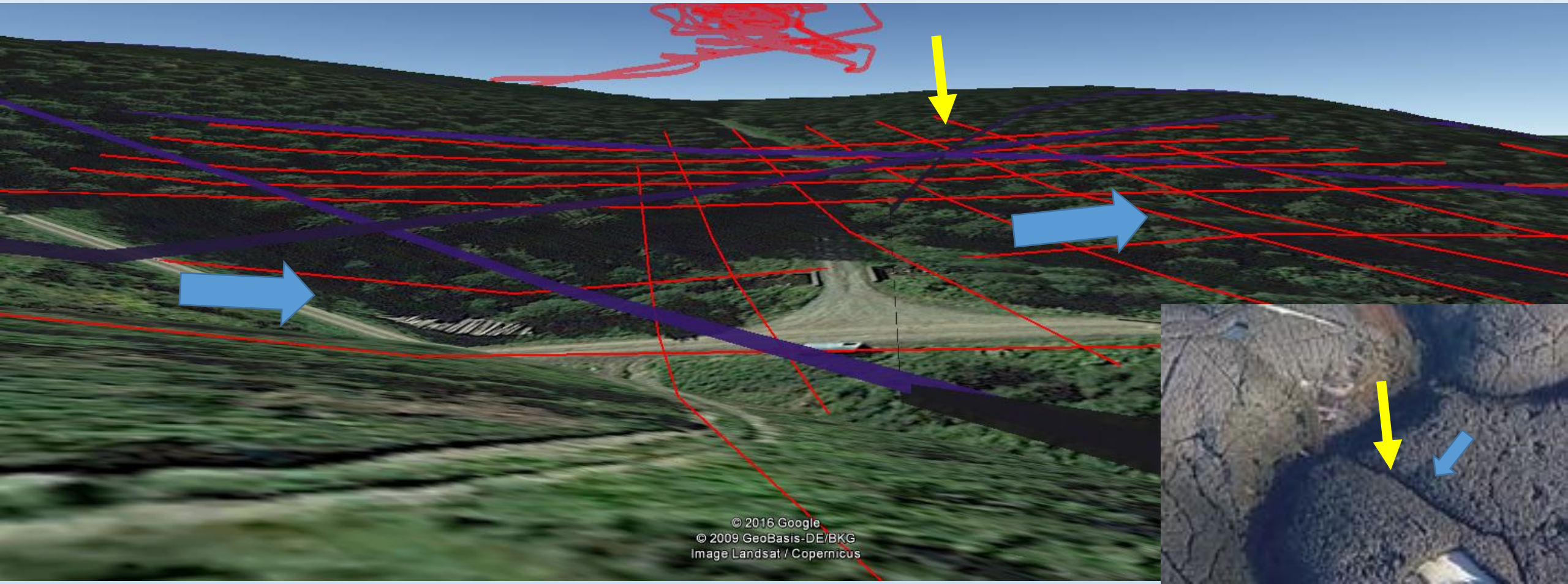


Detailansicht



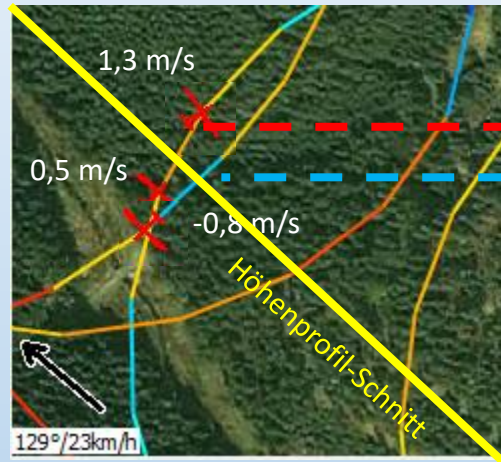


Warum ist am Kreuzungspunkt Steigen zu finden?



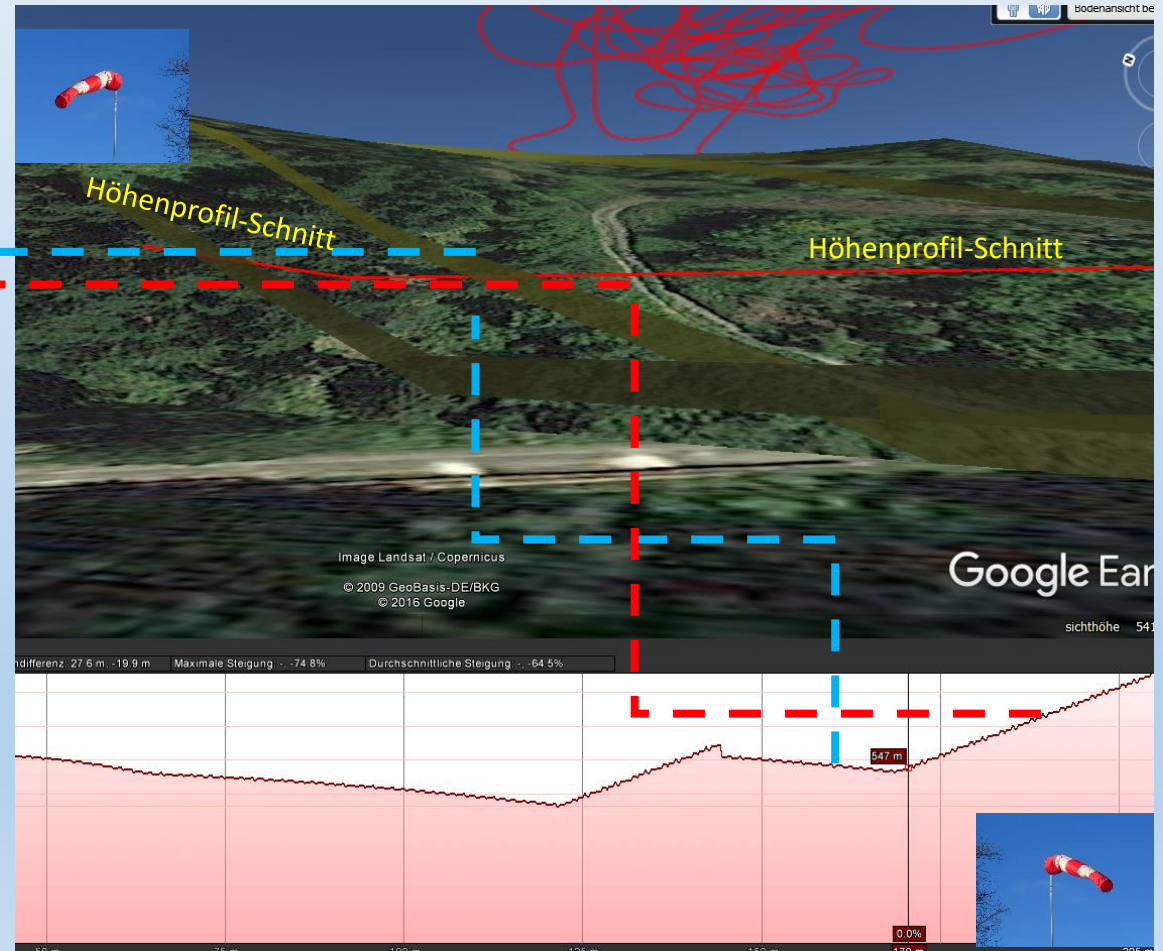
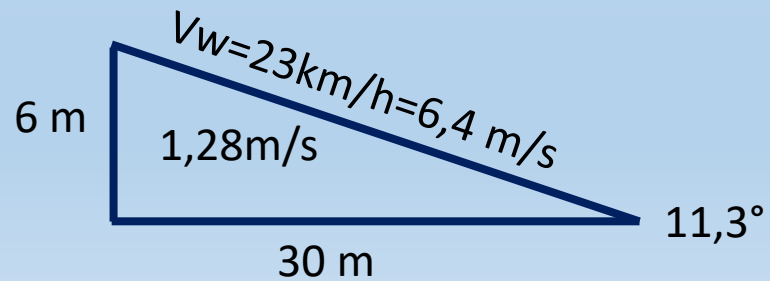
Berechnung der Detailpunkte Welle Harz

Stimmt der rechnerische Hangaufwind mit der Realität überein ?

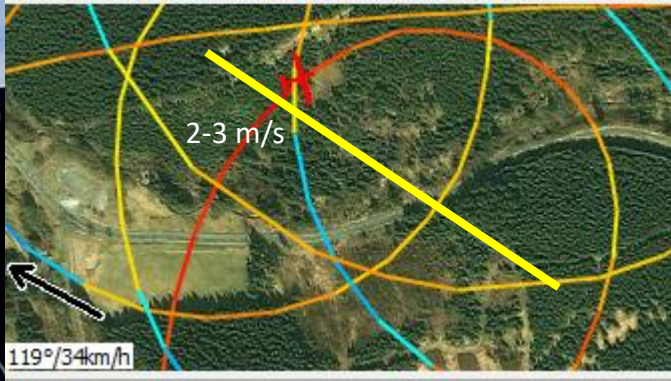


Spur zeigt 0,5-1,3m/s

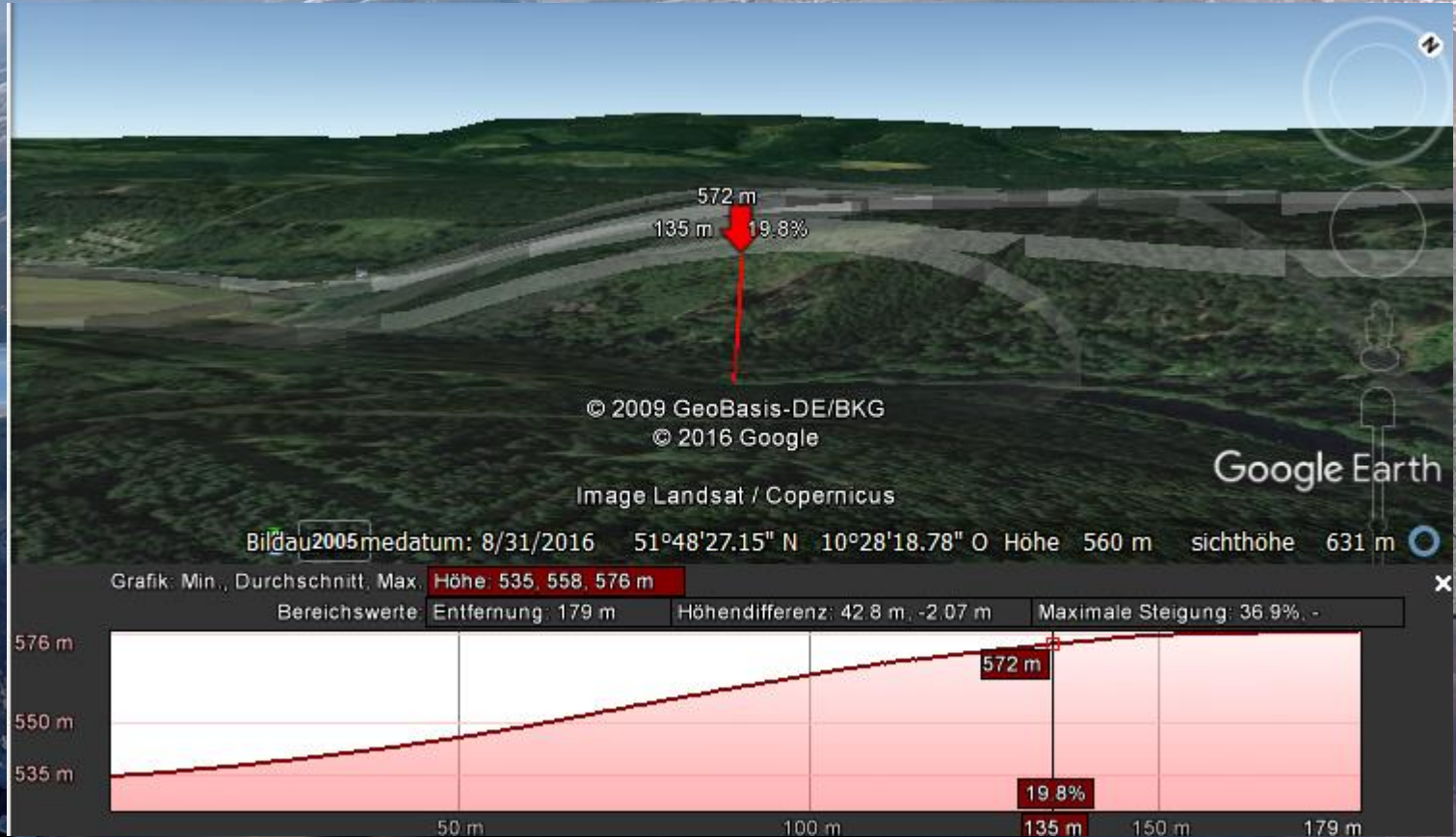
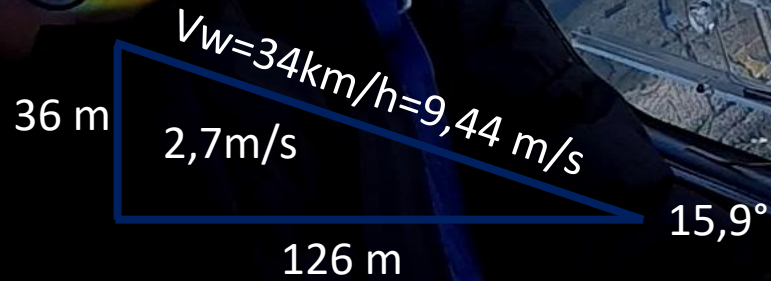
Hangaufwind berechnet 1,3m/s



Berechnung Detailpunkte Harzwelle

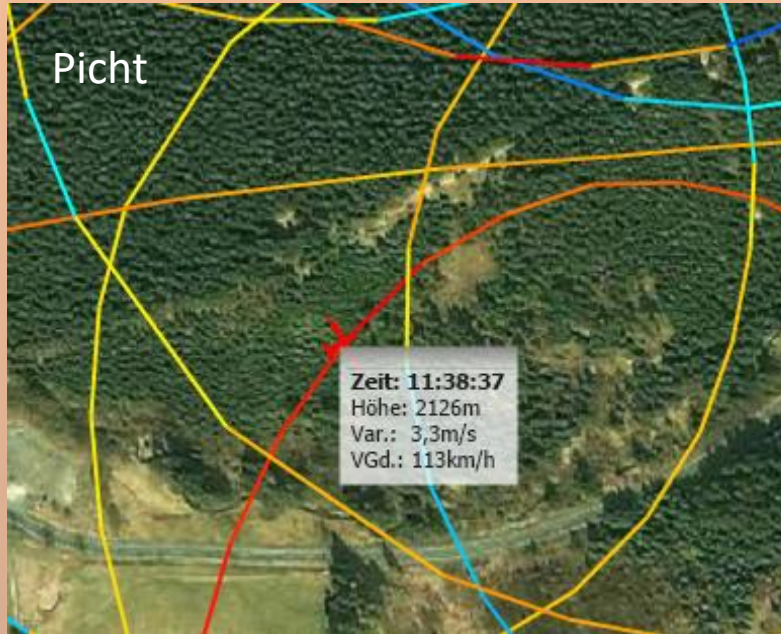


Vario zeigt 2-3m/s
Hangaufwind berechnet 2,7m/s

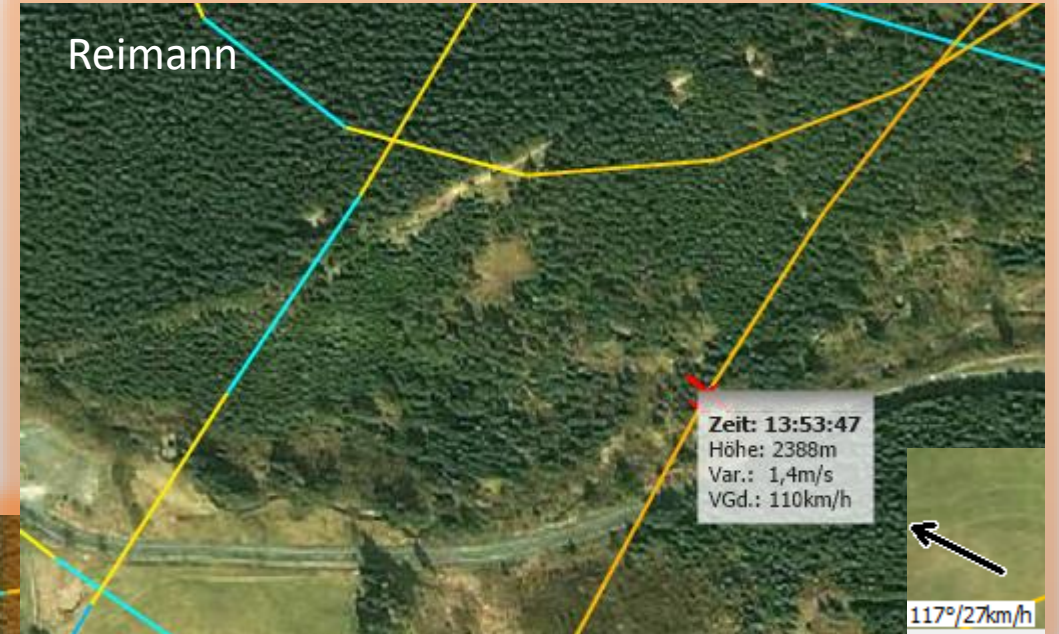


Nachweis durch drei überlagerte IGCs

Reimann, Füllgraf und Picht am 13.11.2016 Harz



1. Hang wird gut überflogen
2. Wind ist kräftig
3. Wind steht nicht senkrecht zum Hang
4. Nimmt Fahrt heraus
5. Hang theor. 2m/s



1. Hang wird kaum überflogen
2. Wind ist gering
3. Wind steht nicht senkrecht zum Hang
4. Hang theor. 1,22 m/s



1. Hang wird zentral überflogen
2. Wind ist gering
3. Wind steht senkrecht zum Hang
4. Hang theor. 3,4m/s

Sichtbare Zeichen

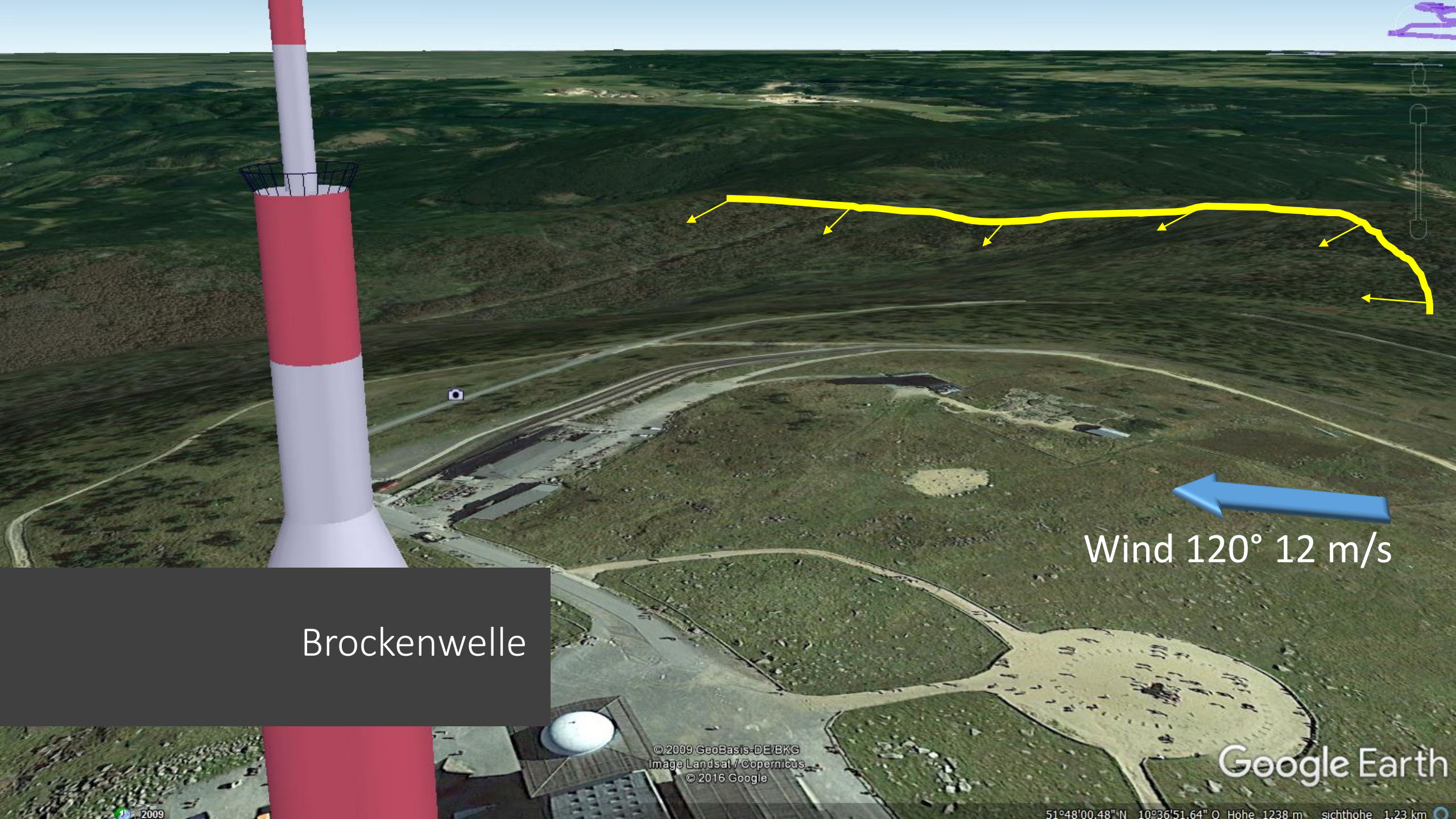


Eine Konturschwankung bei der Überströmung eines Hindernisses erzeugt Steig- und Sinkgebiete

Die über der Kontur befindlichen Luftteilchen verhalten sich äquivalent zur Kontur

Die Windgeschwindigkeit in 2500m lag im Mittel bei 25 km/h

Beim Überflug der Kontur ist keine Latenz in 2500m messbar.
Hangsteiggebiet in 500m ist identisch mit dem Steiggebiet in 2500m



Brockenwelle

Wind 120° 12 m/s

© 2009 GeoBasis-DE/BKG
Image Landsat / Copernicus
© 2016 Google

Google Earth

51°48'00.48"N 10°36'51.64" O Höhe 1238 m sichthöhe 1.23 km





Die Windgeschwindigkeit auf dem Brocken
am 1. Februar 2017 lag bei 15 Knoten

Thermik und Wellen



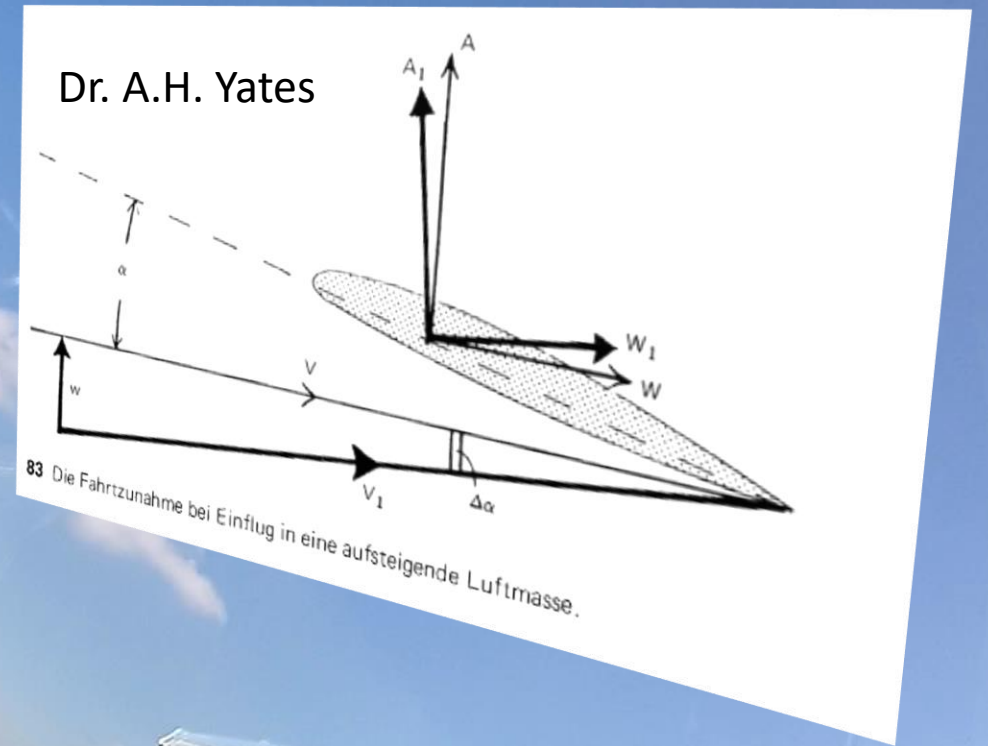
Ist im Kreisflug die Aufwindart erkennbar?

Geschwindigkeit
= konstant

Vario = variabel



Ist im Kreisflug die Aufwindart erkennbar?



Geschwindigkeit
= variabel

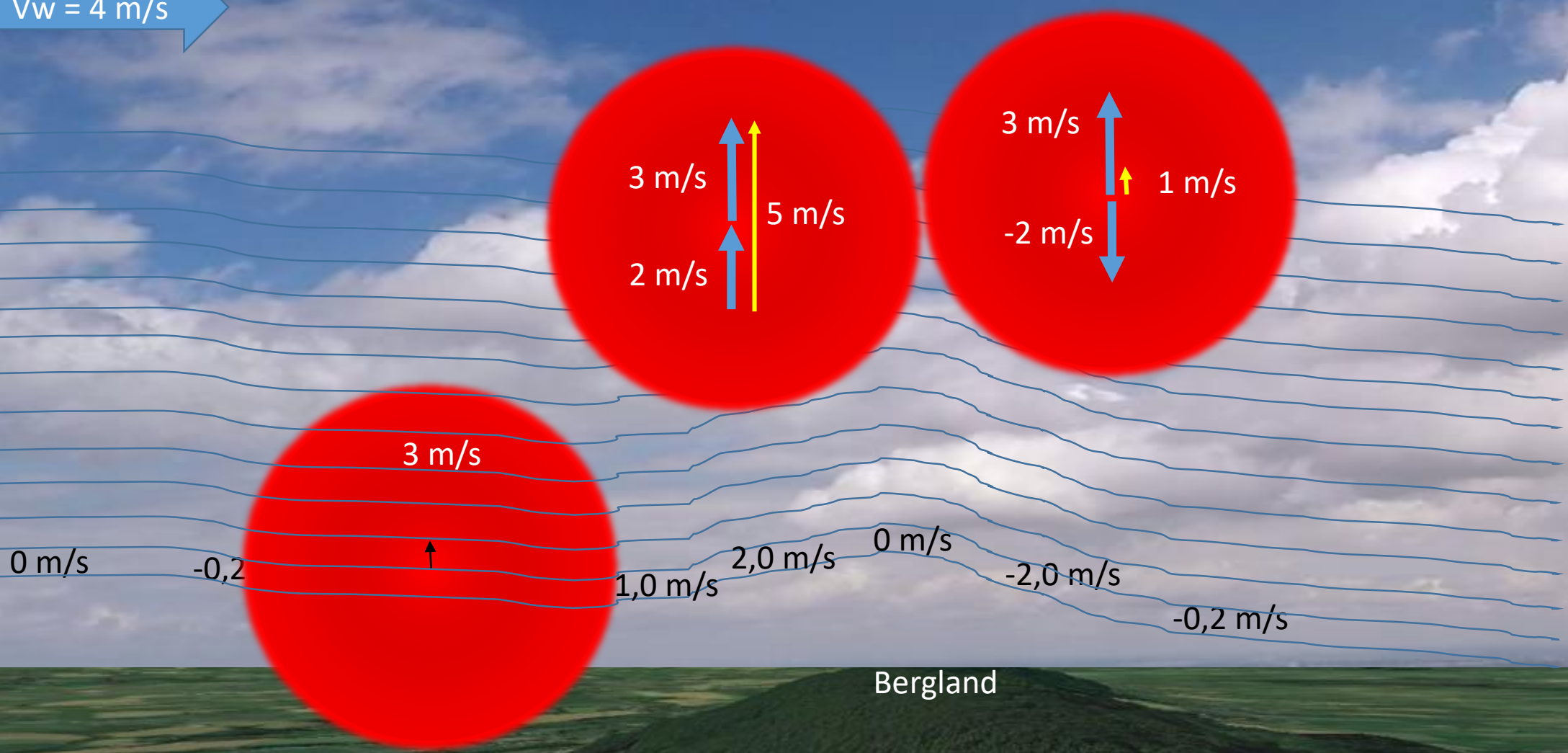
Vario = variabel

Einflug in die Thermik

1. Geschwindigkeit nimmt zu
2. Steigen folgt
3. Geschwindigkeit nimmt wieder ab

Interferenz zwischen Welle und Thermik

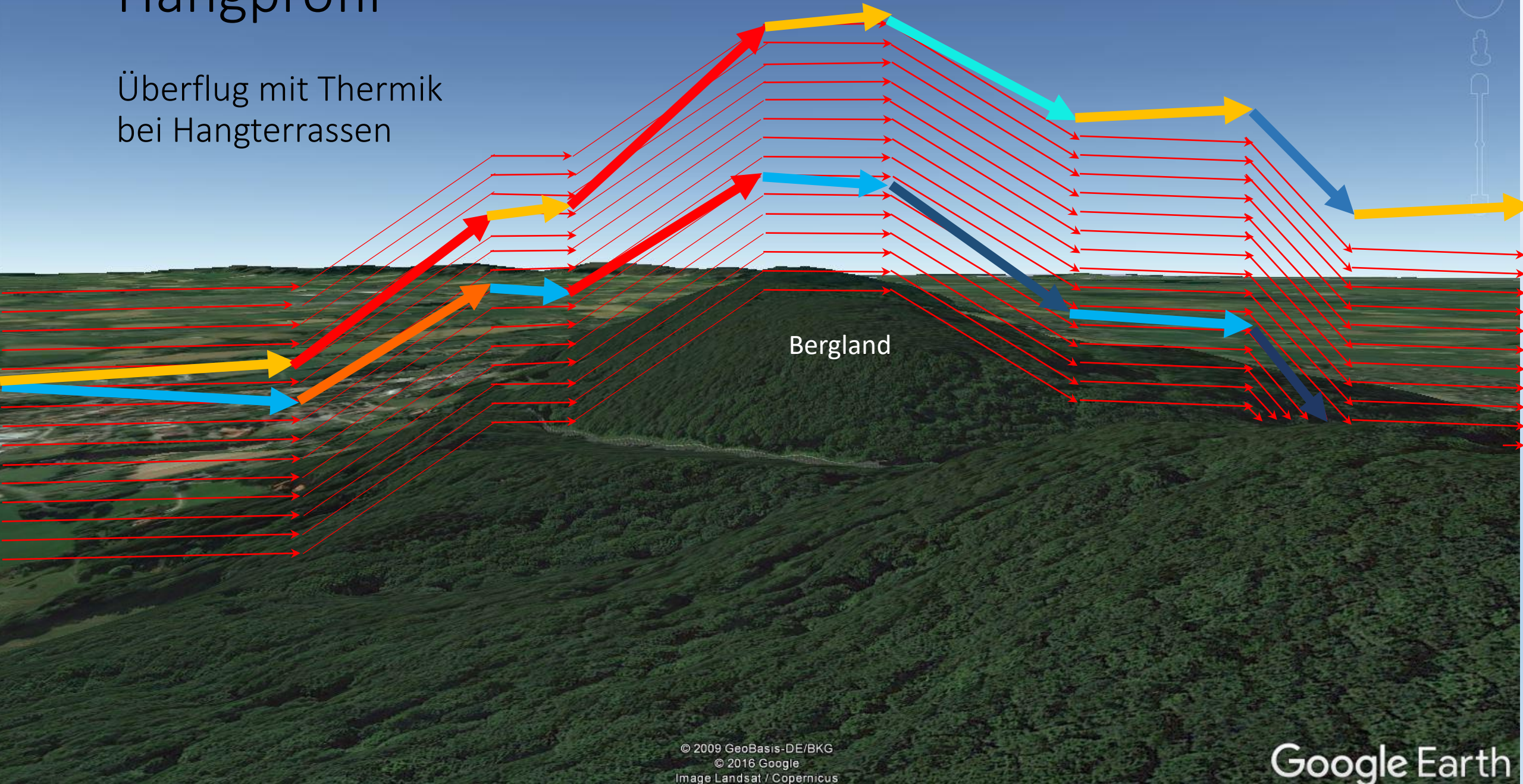
$V_w = 4 \text{ m/s}$



Bergland

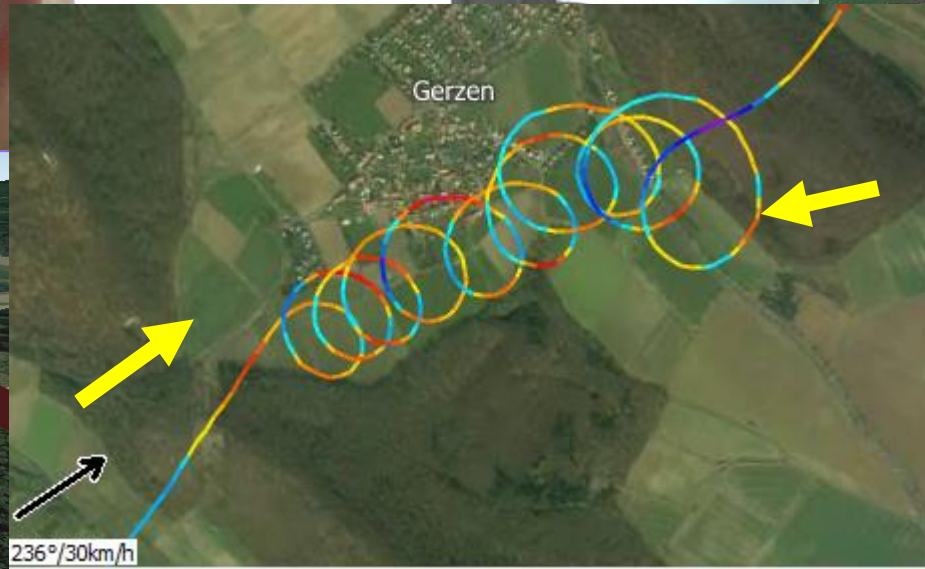
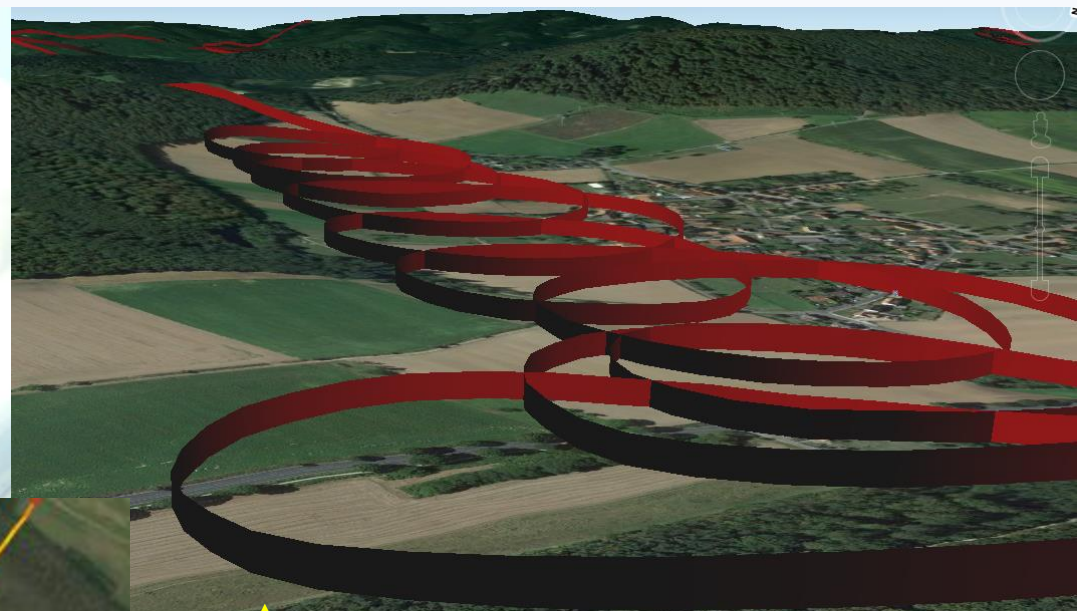
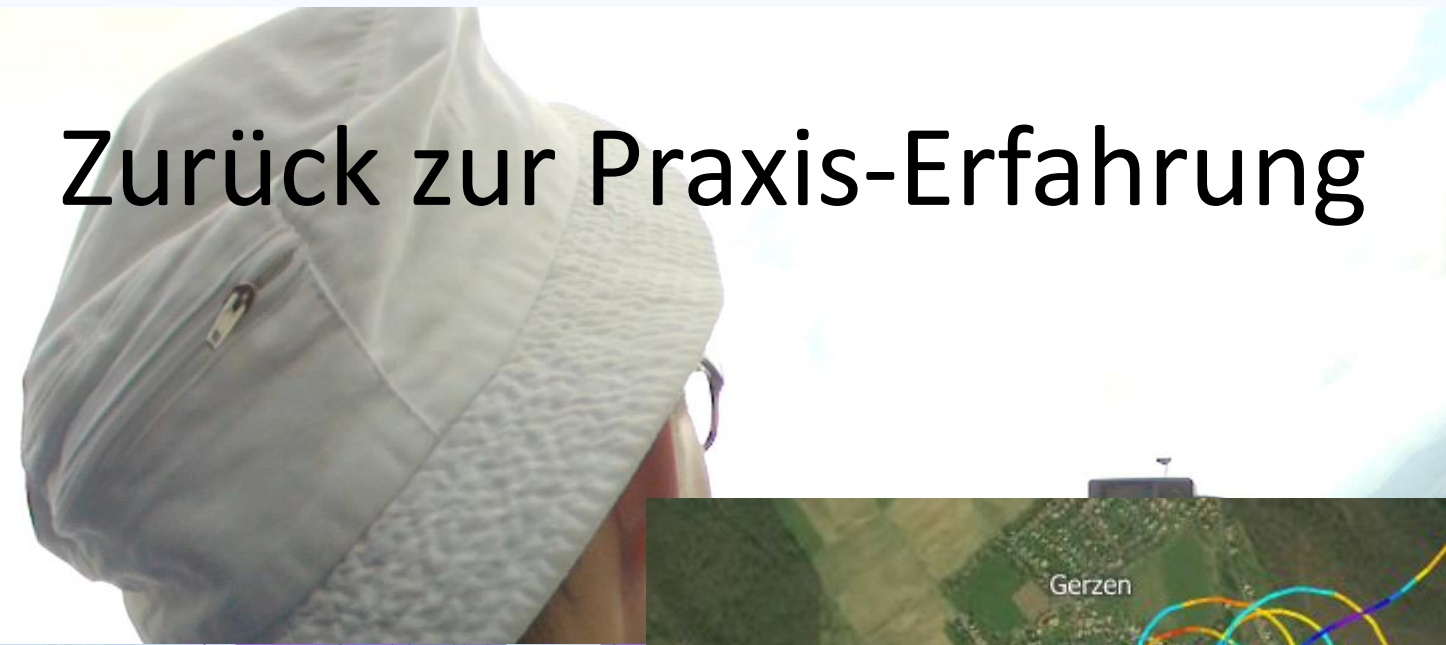
Hangprofil

Überflug mit Thermik bei Hangterrassen

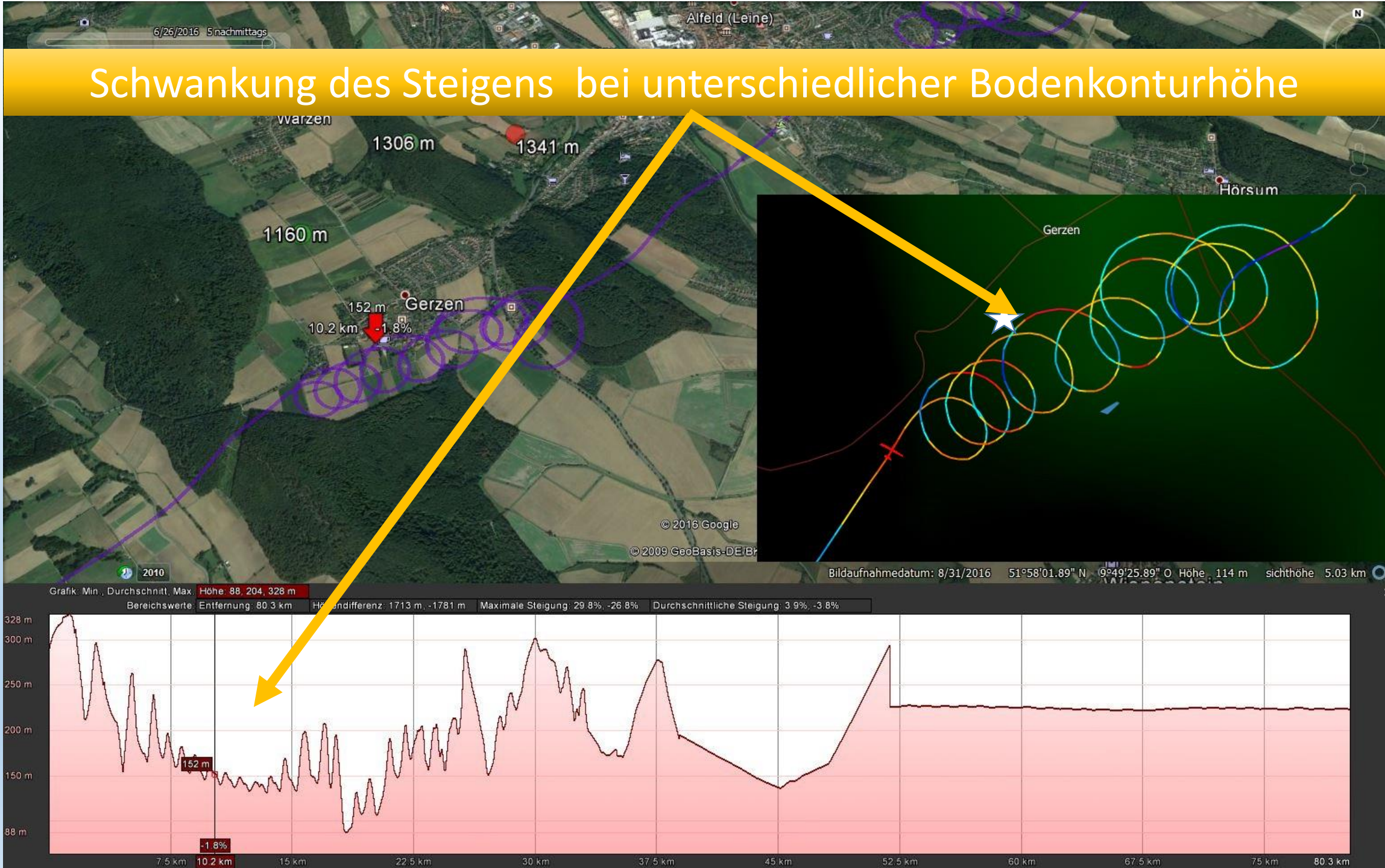


Bergland

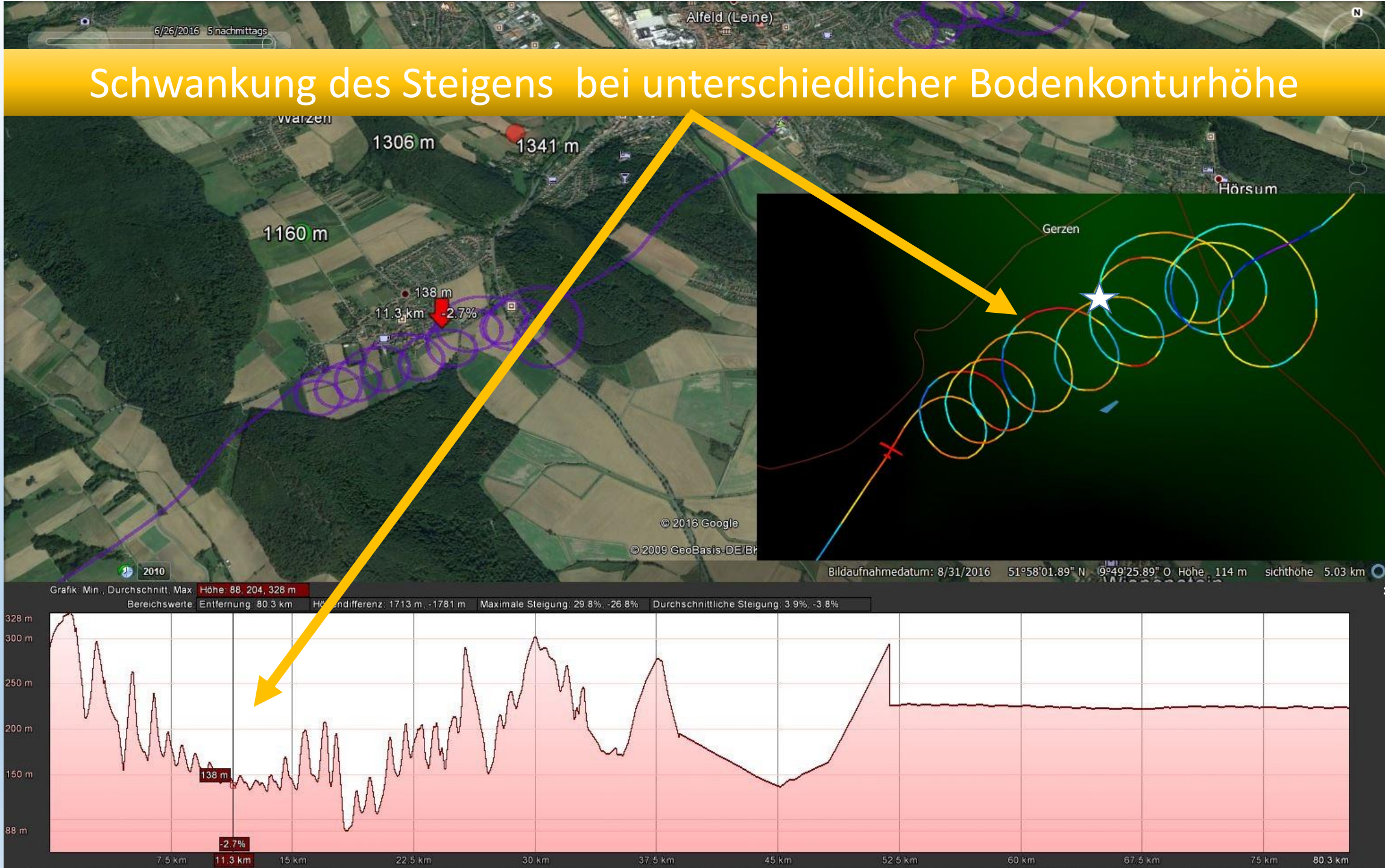
Zurück zur Praxis-Erfahrung



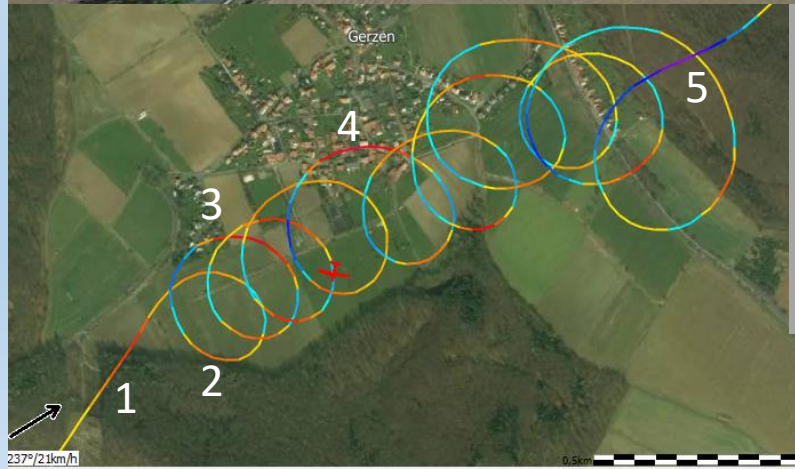
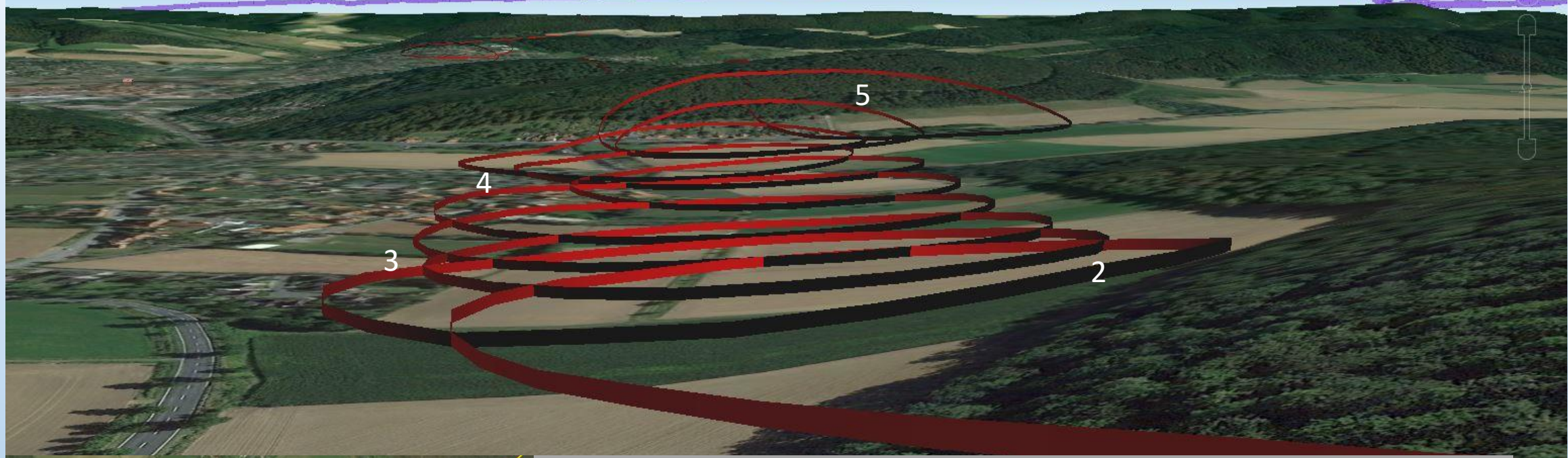
Schwankung des Steigens bei unterschiedlicher Bodenkonturhöhe



Schwankung des Steigens bei unterschiedlicher Bodenkonturhöhe



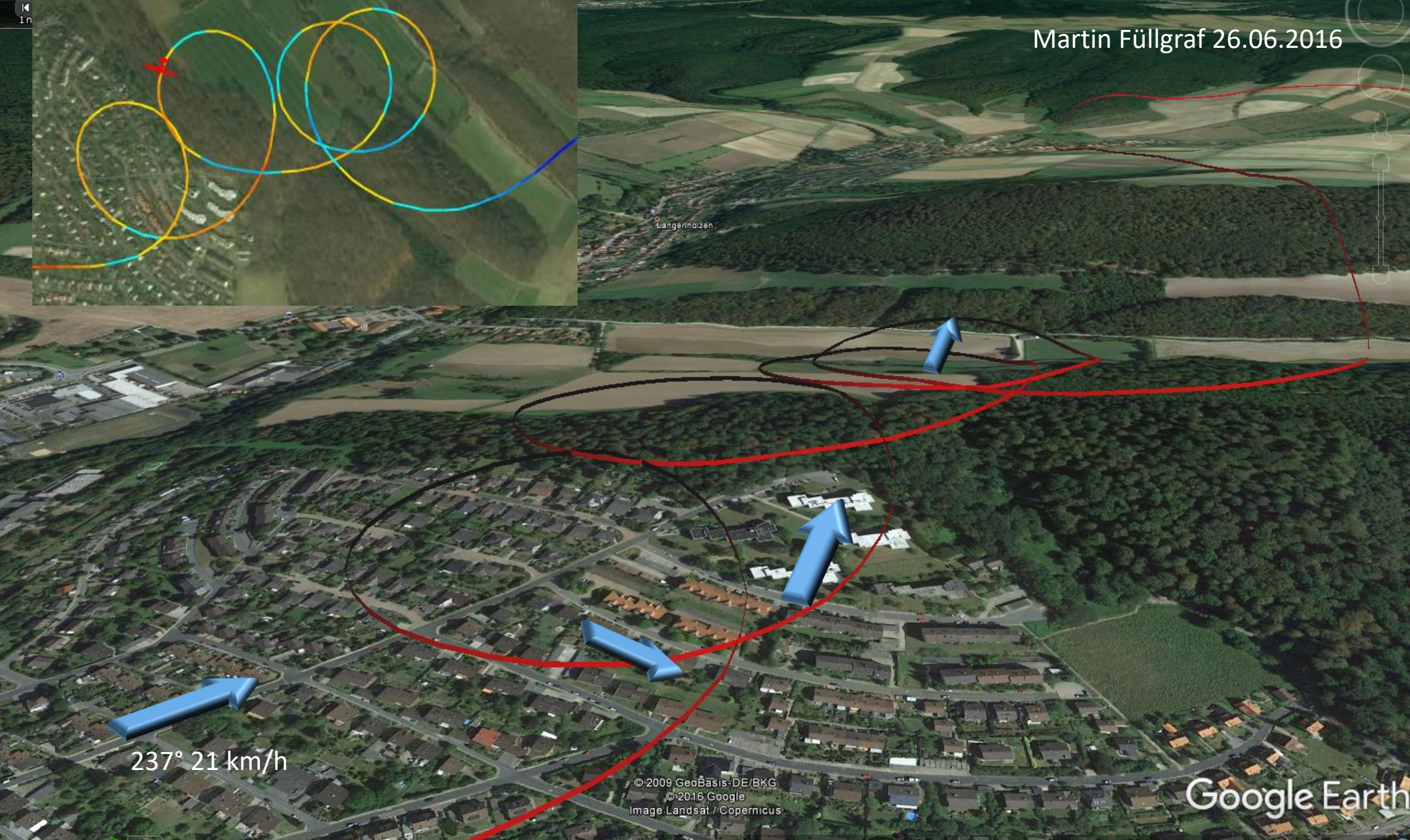
Thermik & Welle



Steigt das Gelände in Flugrichtung an, so hat das einen positiven Einfluss auf die Thermik

1

Martin Füllgraf 26.06.2016



237° 21 km/h

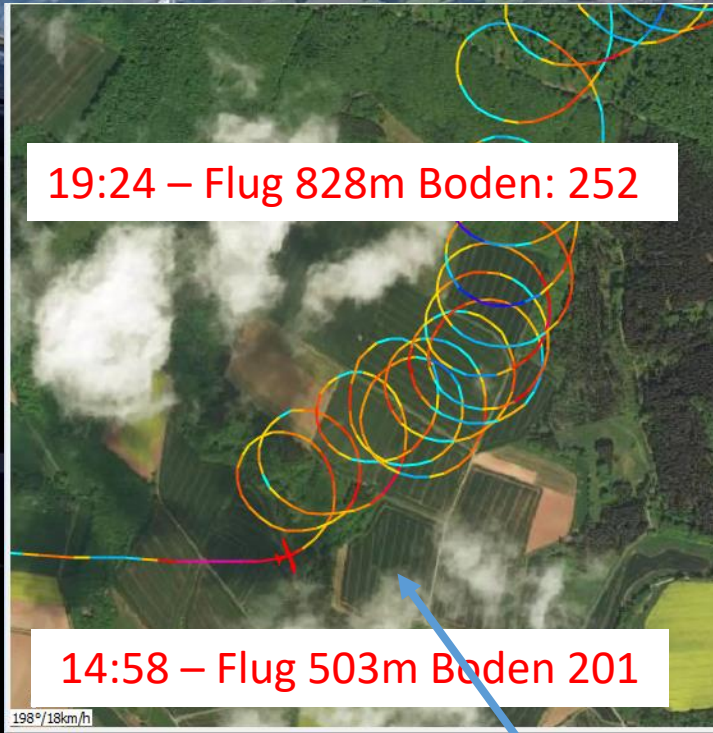
© 2009 GeoBasis-DE/BKG
© 2016 Google
Image Landsat / Copernicus

Google Earth

Bildaufnahmedatum: 8/31/2016 51°59'12.26" N 9°50'46.67" O Höhe 205 m sichthöhe 543 m

2010

Interferenz zwischen Schwachwindwellen und Thermik



1. Geschwindigkeit nimmt zu
2. Steigen folgt
3. Geschwindigkeit nimmt wieder ab

431m

325m

186m

80m

Thermik 1,62m/s

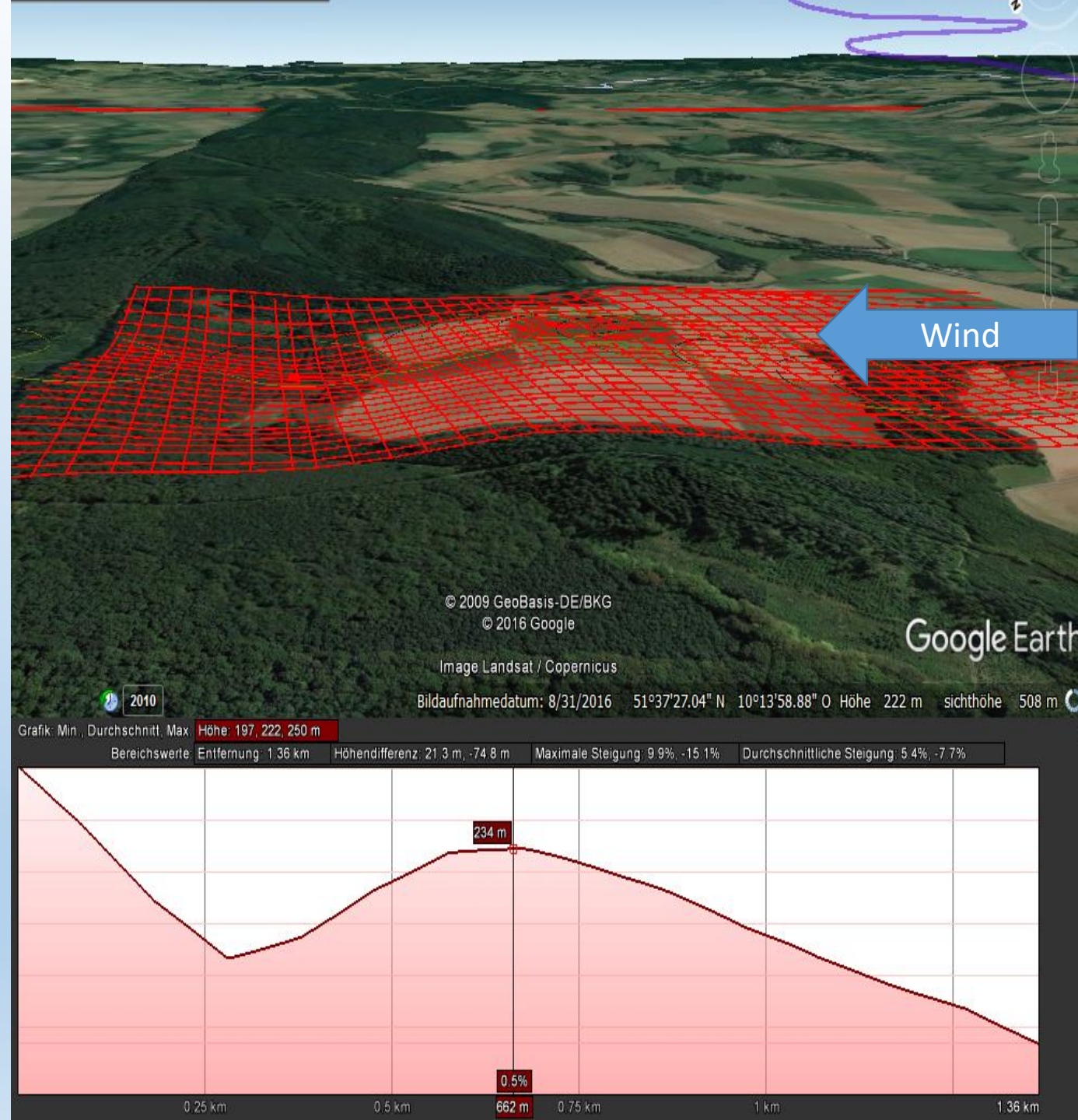
Integrierte 1,22m/s

Flugzeug -0,7m/s

Hang 0,3m/s

266 sek

3D Hangkontur



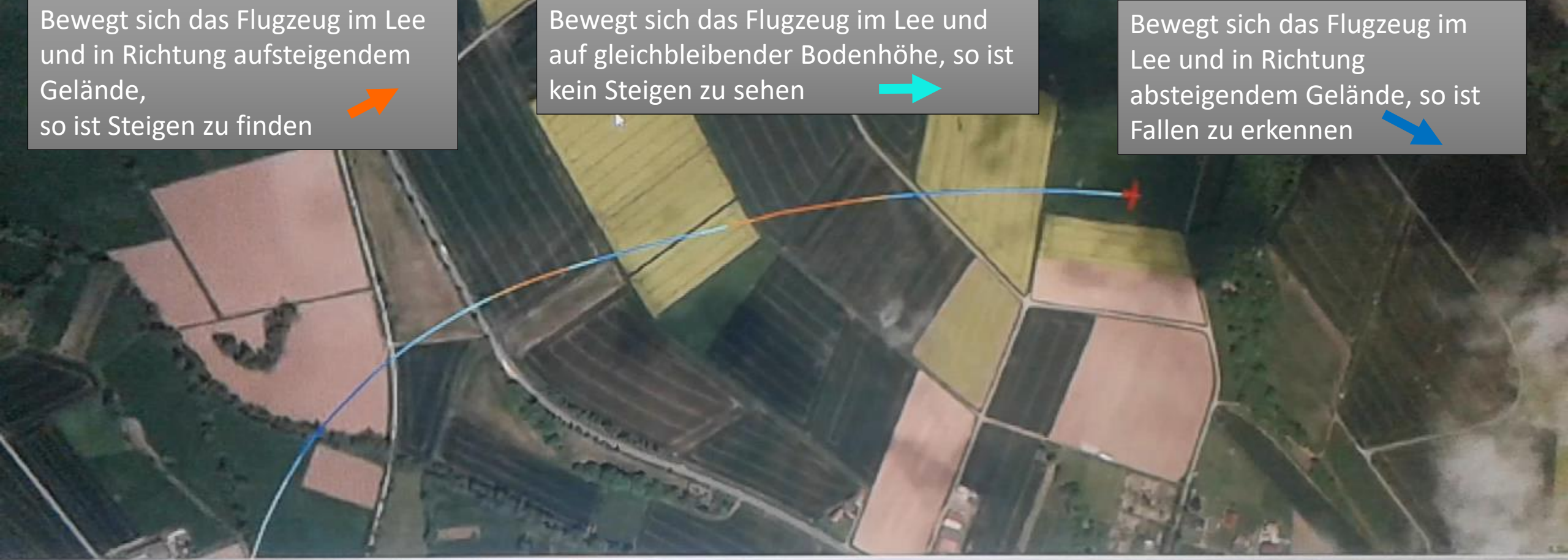
Bewegt sich das Flugzeug im Lee und in Richtung aufsteigendem Gelände, so ist Steigen zu finden



Bewegt sich das Flugzeug im Lee und auf gleichbleibender Bodenhöhe, so ist kein Steigen zu sehen



Bewegt sich das Flugzeug im Lee und in Richtung absteigendem Gelände, so ist Fallen zu erkennen



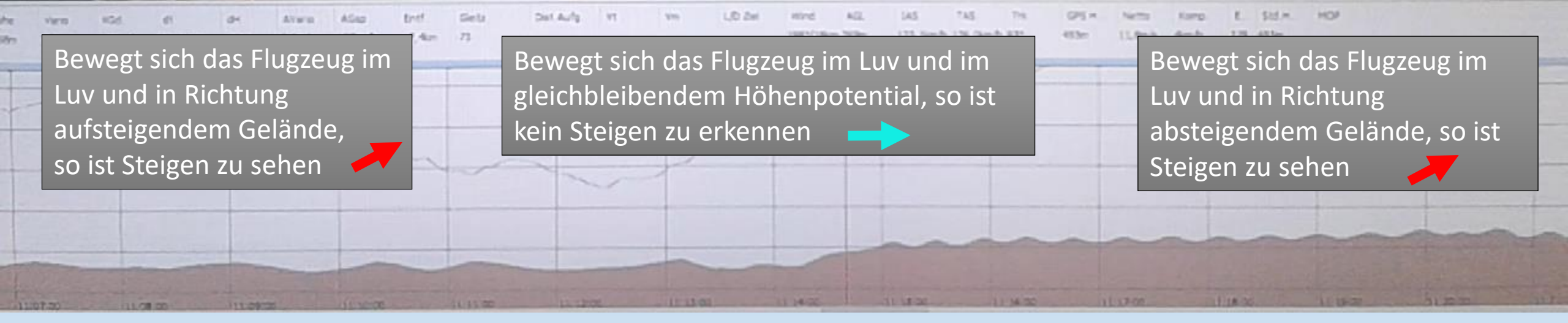
Bewegt sich das Flugzeug im Luv und in Richtung aufsteigendem Gelände, so ist Steigen zu sehen



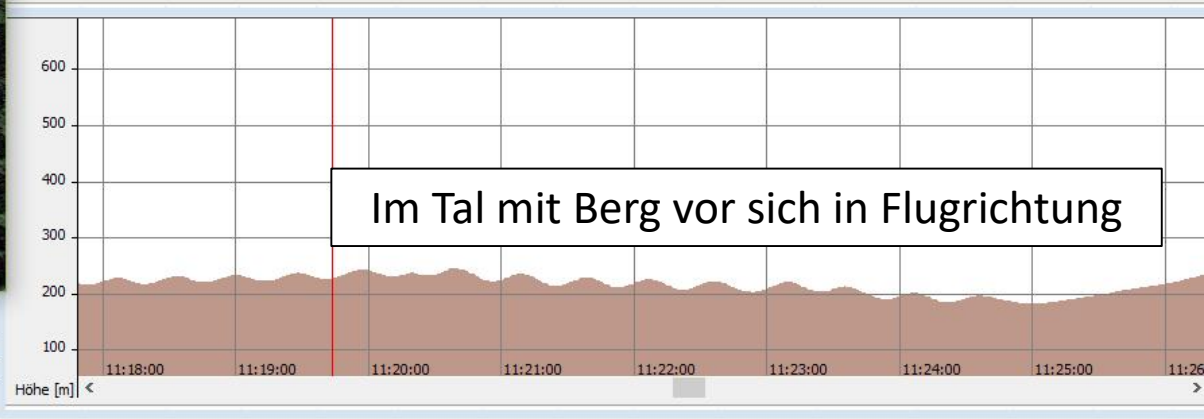
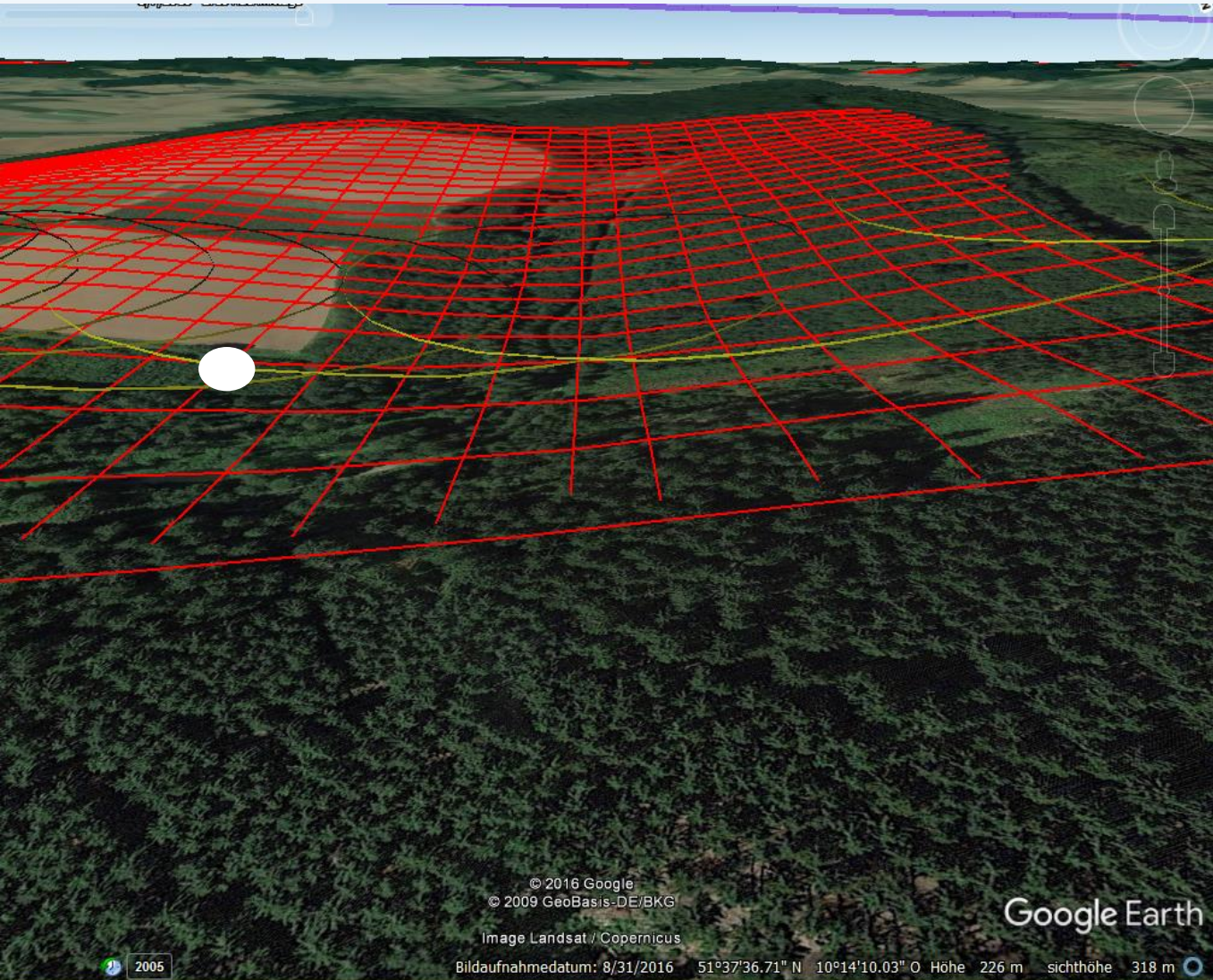
Bewegt sich das Flugzeug im Luv und im gleichbleibendem Höhenpotential, so ist kein Steigen zu erkennen



Bewegt sich das Flugzeug im Luv und in Richtung absteigendem Gelände, so ist Steigen zu sehen



Potentialtheorie



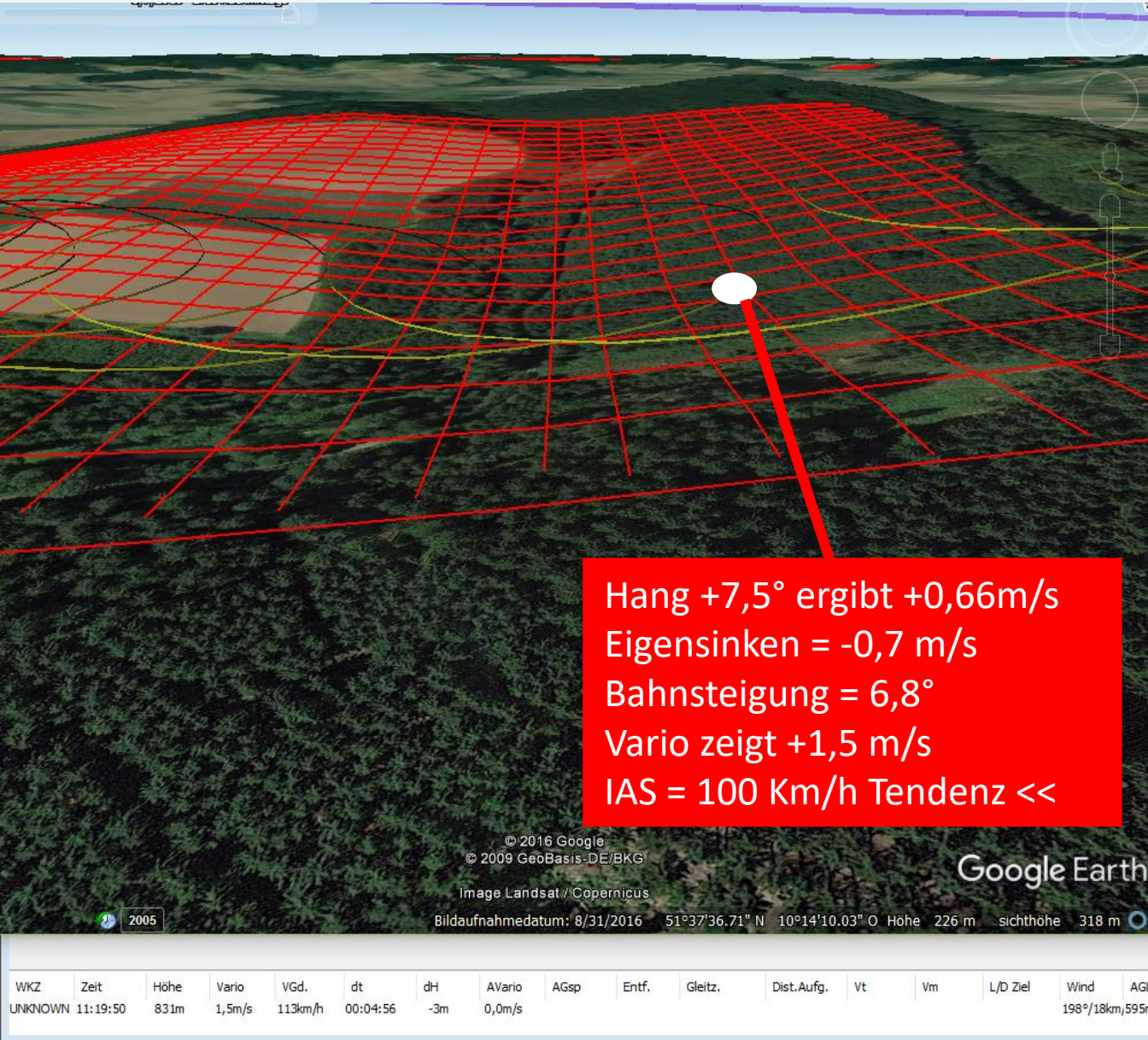
WKZ	Zeit	Höhe	Vario	VGd.	dt	dH	AVario	AGsp	Entf.	Gleitz.	Dist.Aufg.	Vt	Vm	L/D Ziel	Wind	AGL
UNKNOWN	11:19:44	820m	2,0m/s	130km/h	00:04:56	-3m	0,0m/s								198°/18km,592m	

© 2016 Google
© 2009 GeoBasis-DE/BKG
Image Landsat / Copernicus

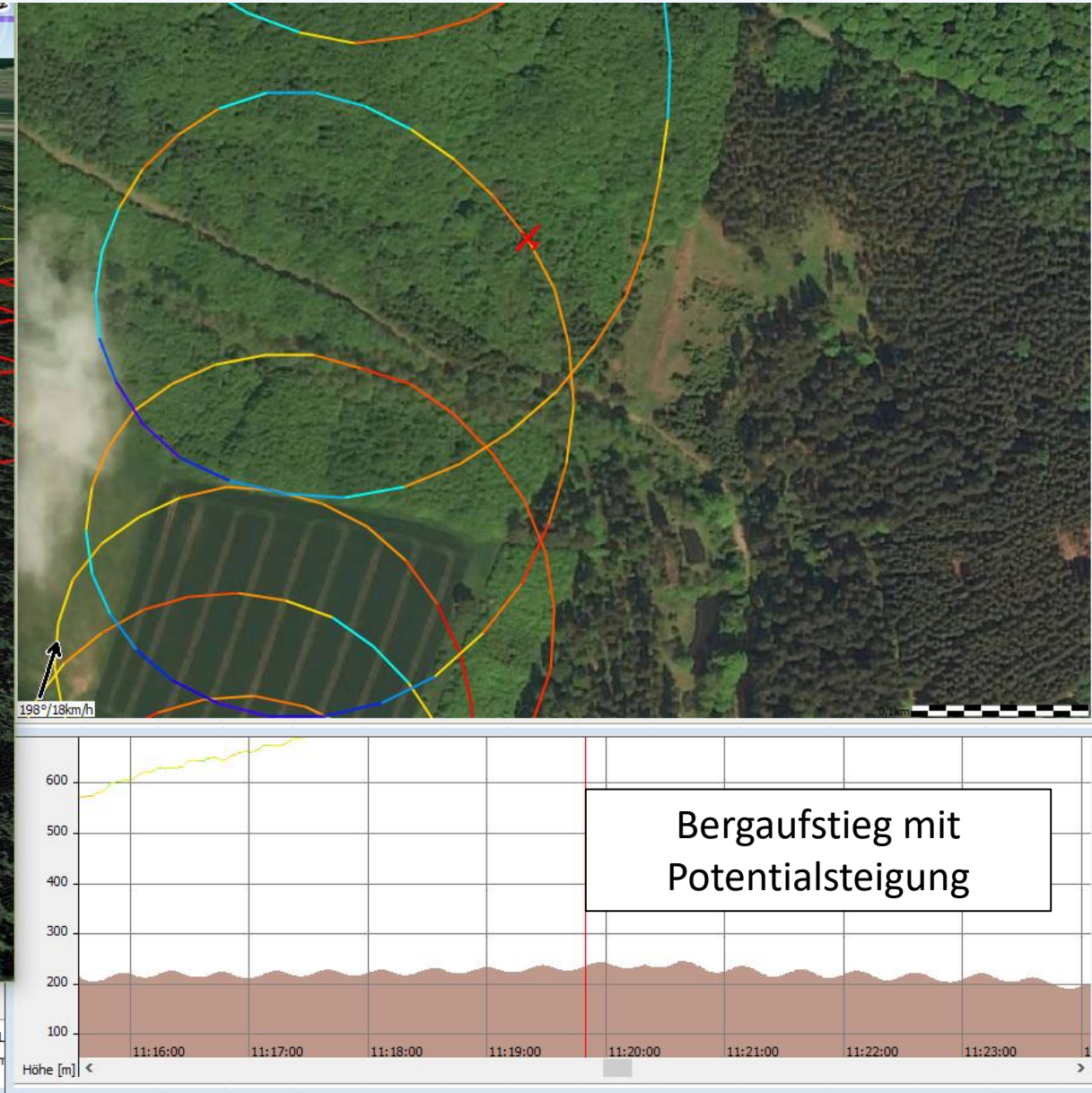
Google Earth

Bildaufnahmedatum: 8/31/2016 51°37'36.71" N 10°14'10.03" O Höhe 226 m sichthöhe 318 m

Potentialtheorie



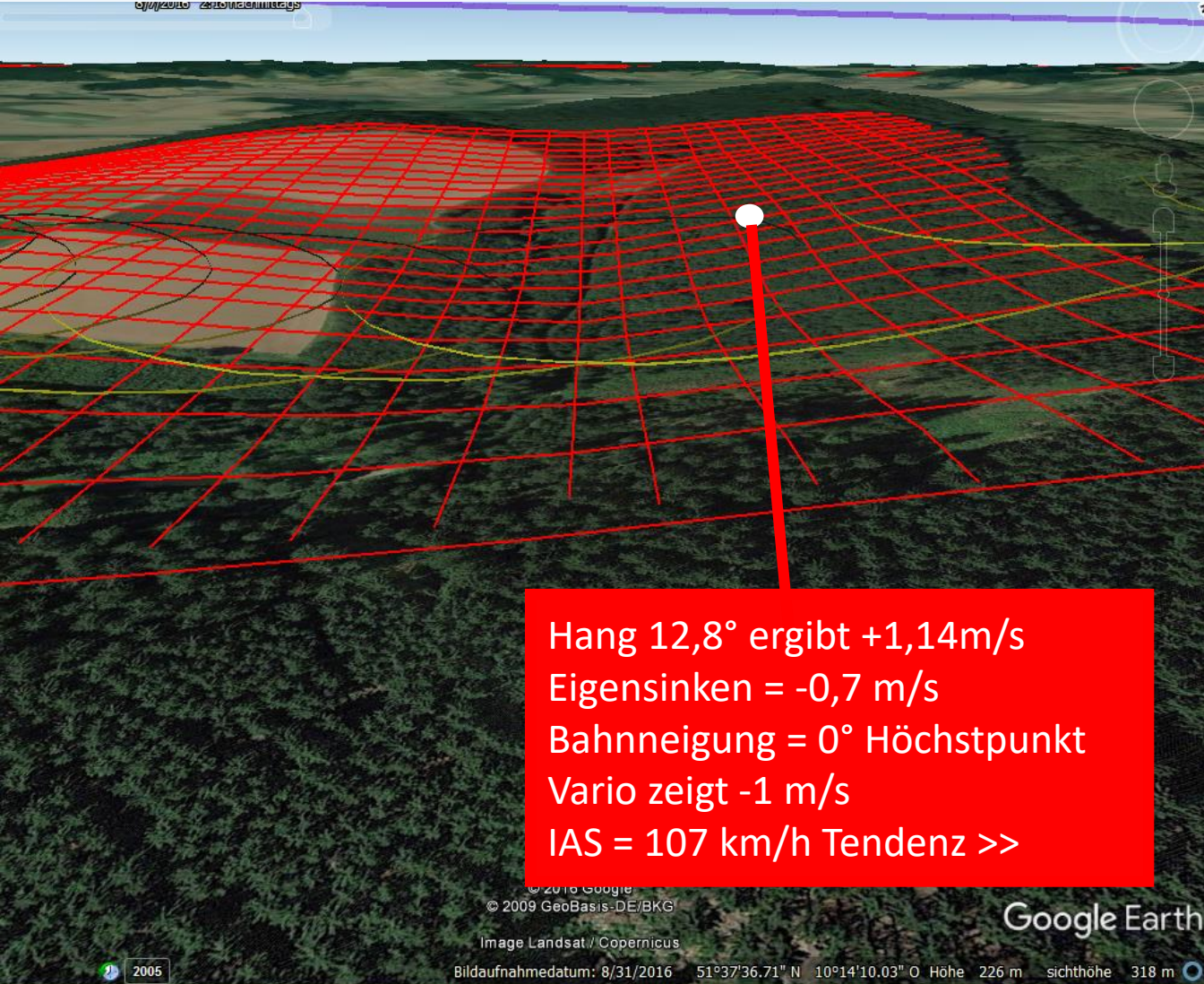
Hang +7,5° ergibt +0,66m/s
Eigensinken = -0,7 m/s
Bahnsteigung = 6,8°
Vario zeigt +1,5 m/s
IAS = 100 Km/h Tendenz <<



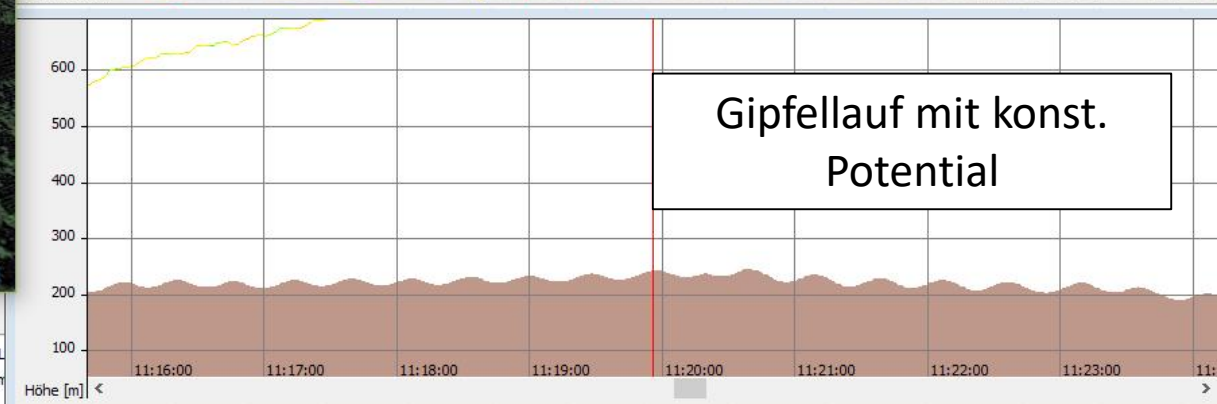
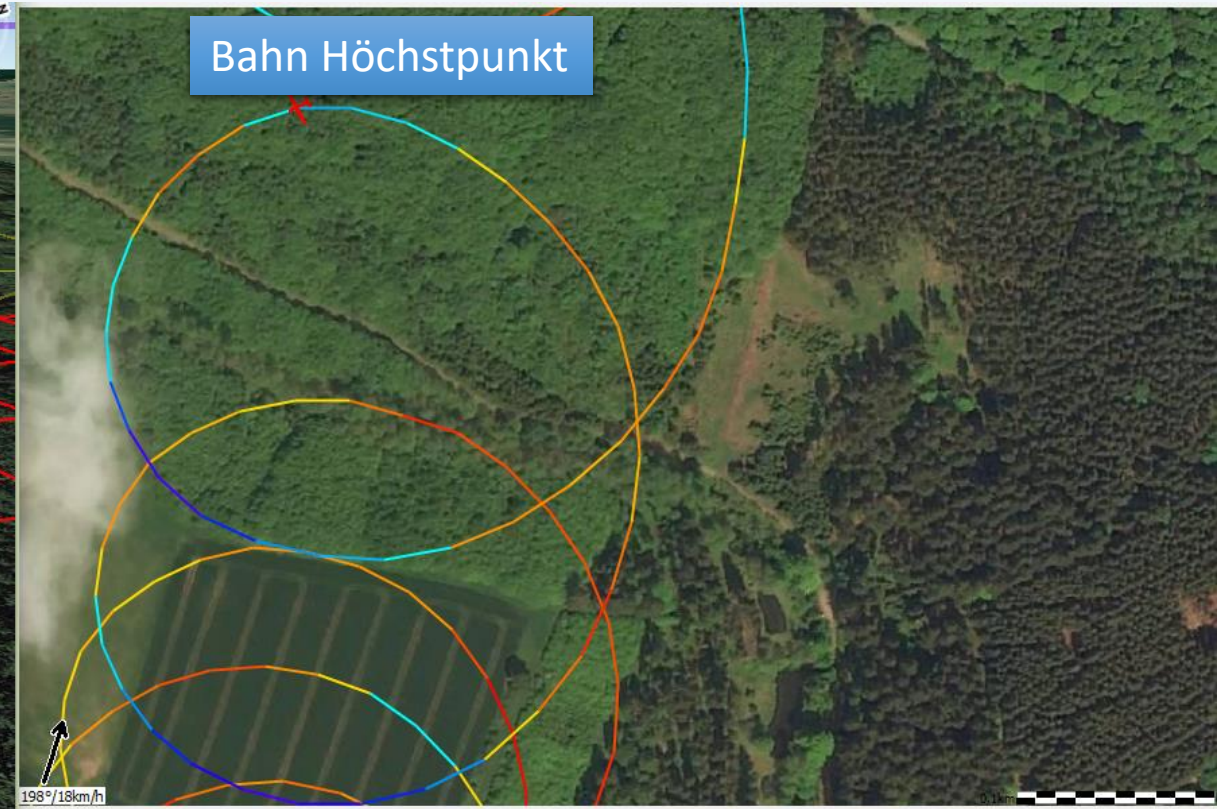
Bergaufstieg mit Potentialsteigerung

Bewegt sich das Flugzeug im Luv und in Richtung aufsteigendem Gelände, so ist die Potentialänderung groß. Das Steigen erfährt den Maximalwert, bzw. die Thermik kann ungehindert aufwärts strömen

Potentialtheorie



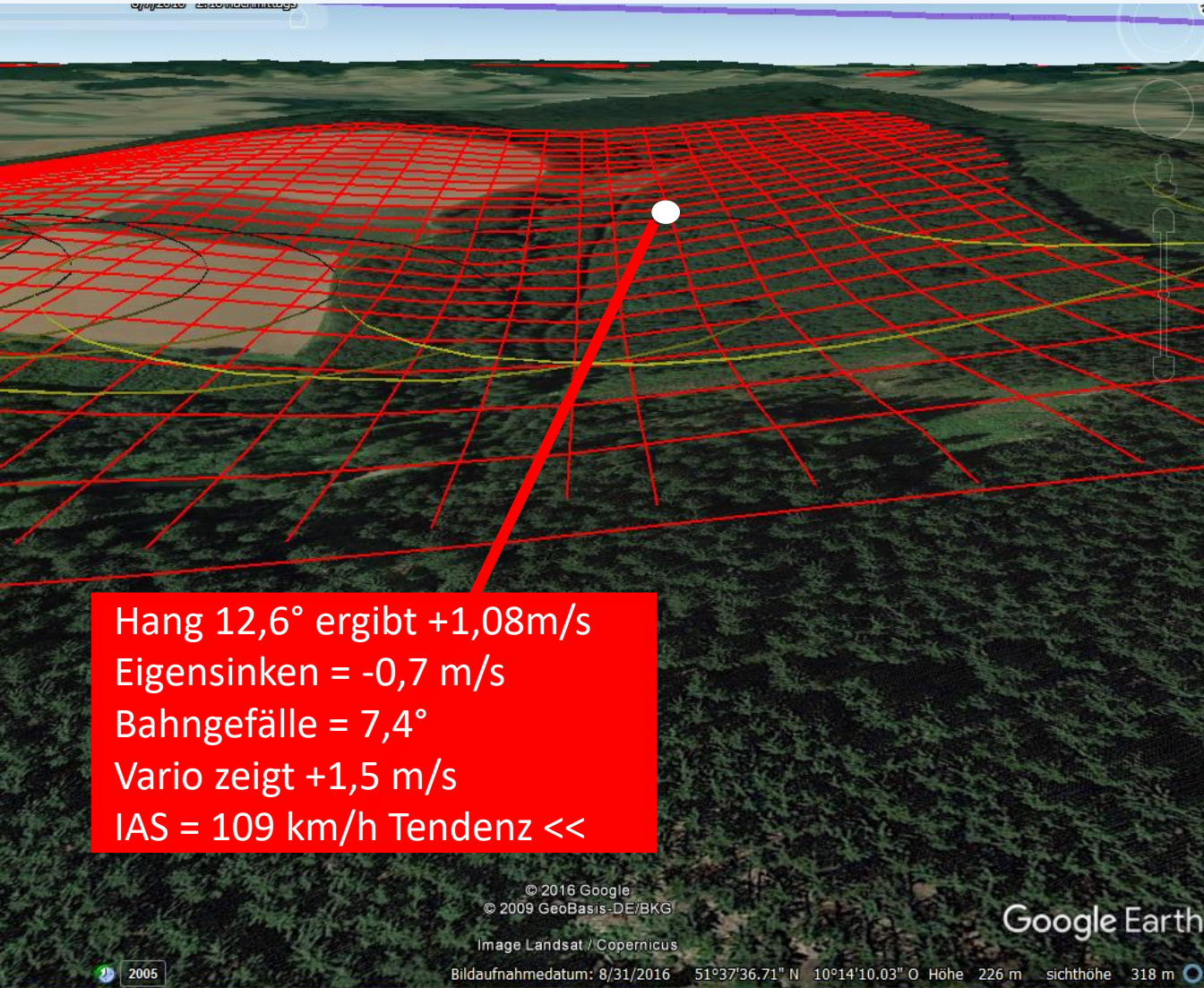
Hang $12,8^\circ$ ergibt $+1,14\text{m/s}$
Eigensinken = $-0,7\text{ m/s}$
Bahnneigung = 0° Höchstpunkt
Vario zeigt -1 m/s
IAS = 107 km/h Tendenz \gg



WKZ	Zeit	Höhe	Vario	VGd.	dt	dH	AVario	AGsp	Entf.	Gleitz.	Dist.Aufg.	Vt	Vm	L/D Ziel	Wind	AGL
UNKNOWN	11:19:56	835m	-1,0m/s	100km/h	00:04:56	-3m	0,0m/s								198°/18km/h	592m

Bewegt sich das Flugzeug im Luv und im Höhenpotential gleichbleibendem Gelände, so ist die Potentialänderung gleich null.
Das Steigen erfährt keine Unterstützung durch den Hang

Potentialtheorie



Hang $12,6^\circ$ ergibt $+1,08\text{m/s}$
Eigensinken = $-0,7\text{ m/s}$
Bahngefälle = $7,4^\circ$
Vario zeigt $+1,5\text{ m/s}$
IAS = 109 km/h Tendenz \ll

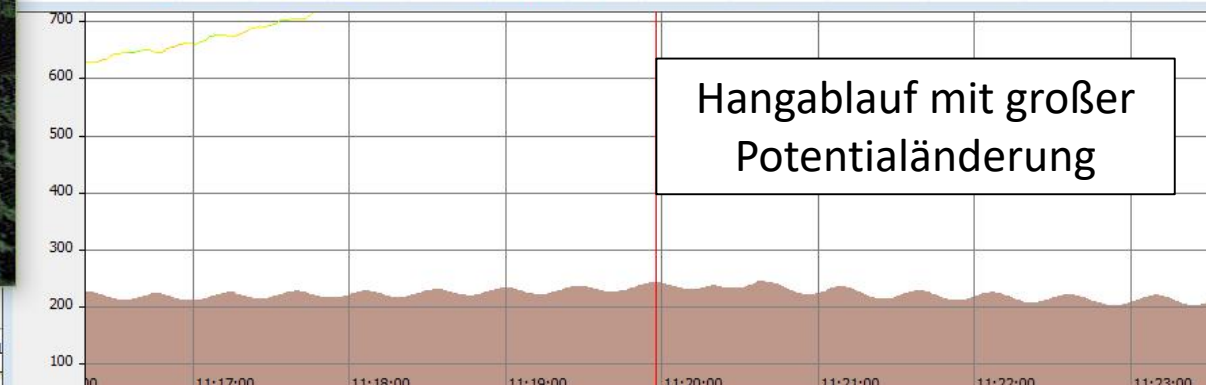
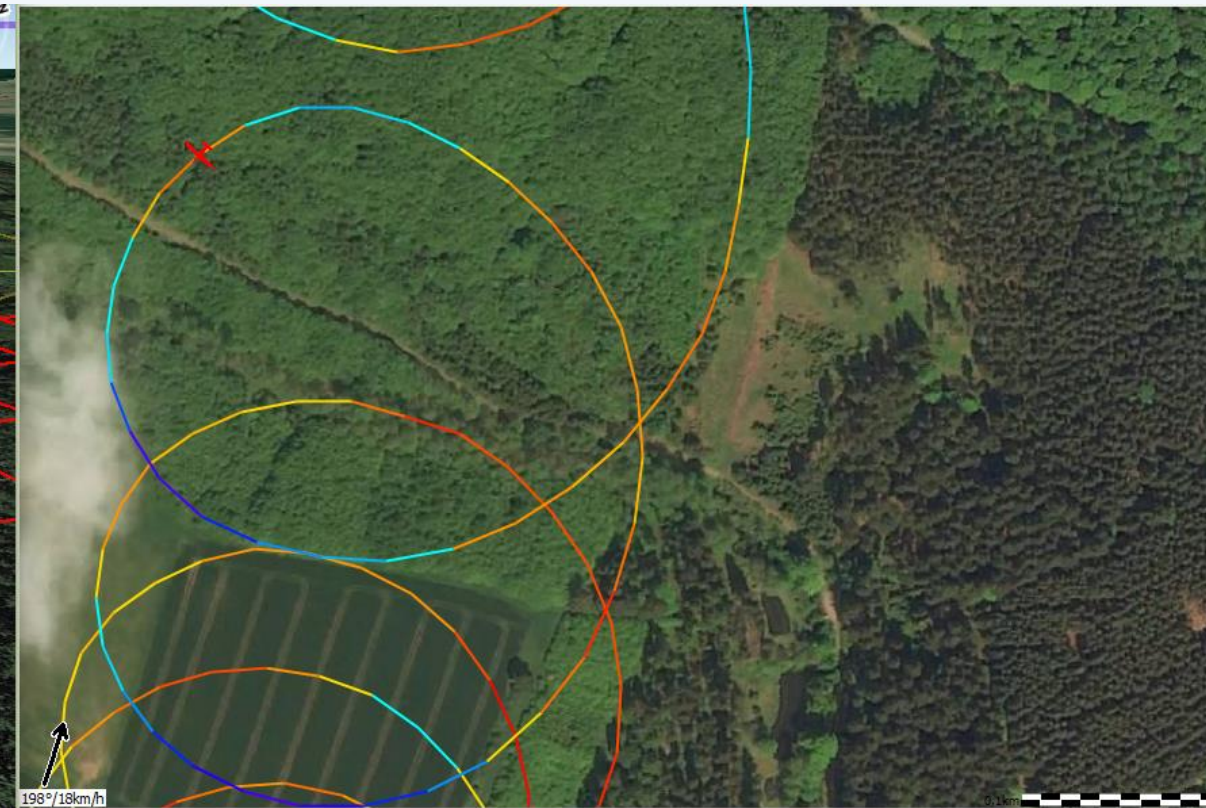
© 2016 Google
© 2009 GeoBasis-DE/BKG

Google Earth

Image Landsat / Copernicus

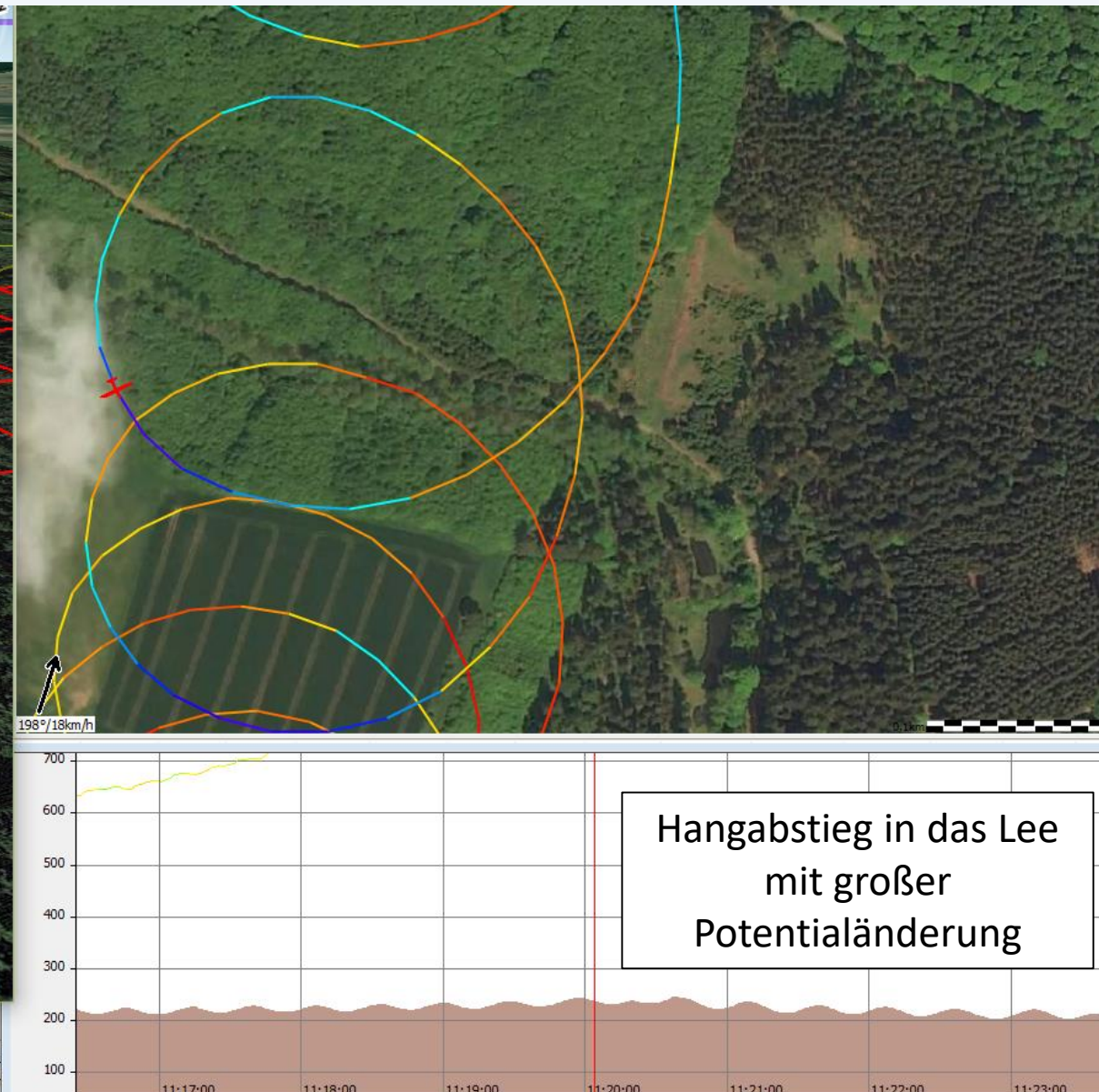
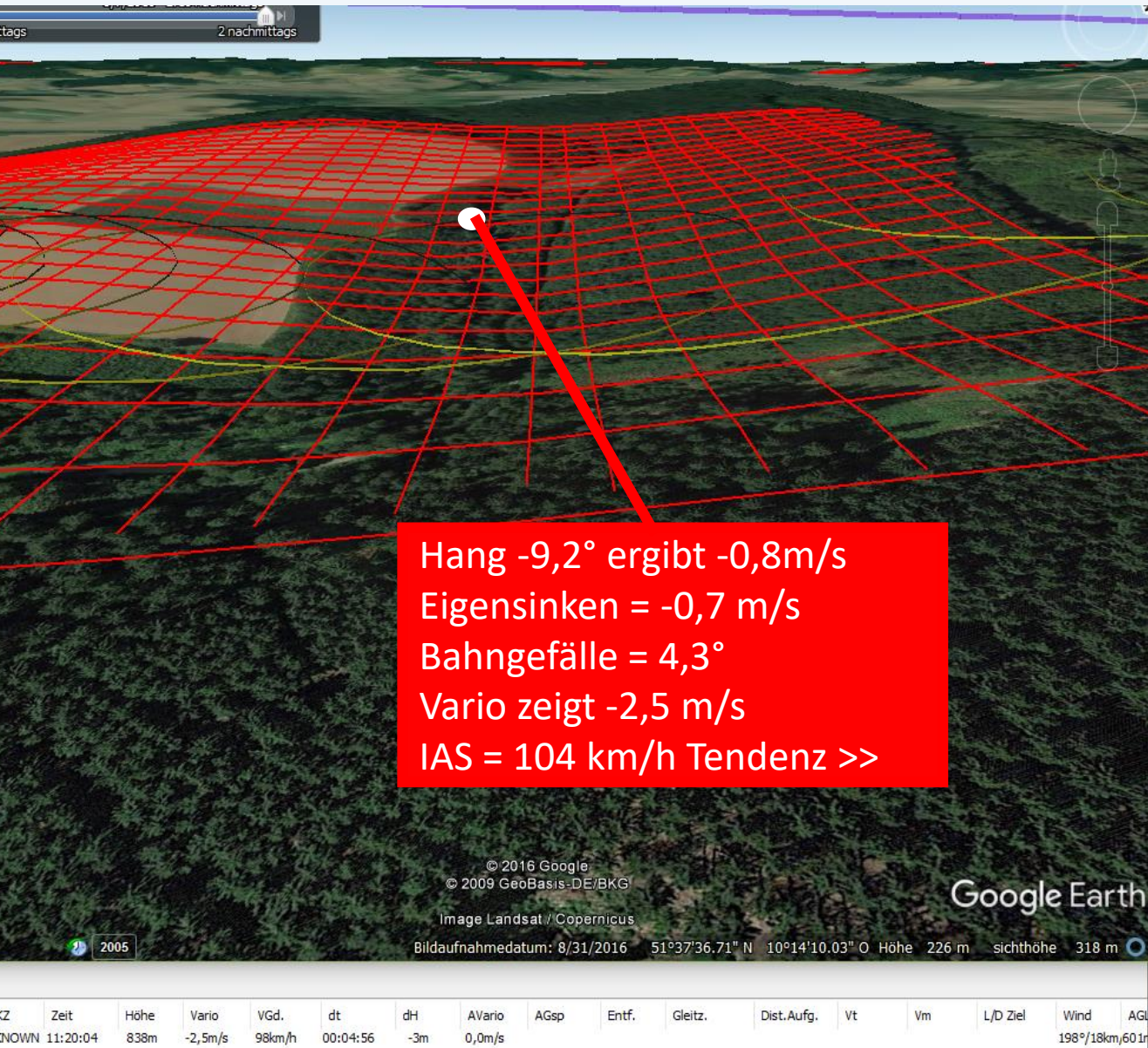
Bildaufnahmedatum: 8/31/2016 51°37'36.71" N 10°14'10.03" O Höhe 226 m sichthöhe 318 m

WKZ	Zeit	Höhe	Vario	VGd.	dt	dH	AVario	AGsp	Entf.	Gleitz.	Dist.Aufg.	Vt	Vm	L/D Ziel	Wind	AGI
UNKNOWN	11:19:58	835m	1,5m/s	98km/h	00:04:56	-3m	0,0m/s								198°/18km,592r	



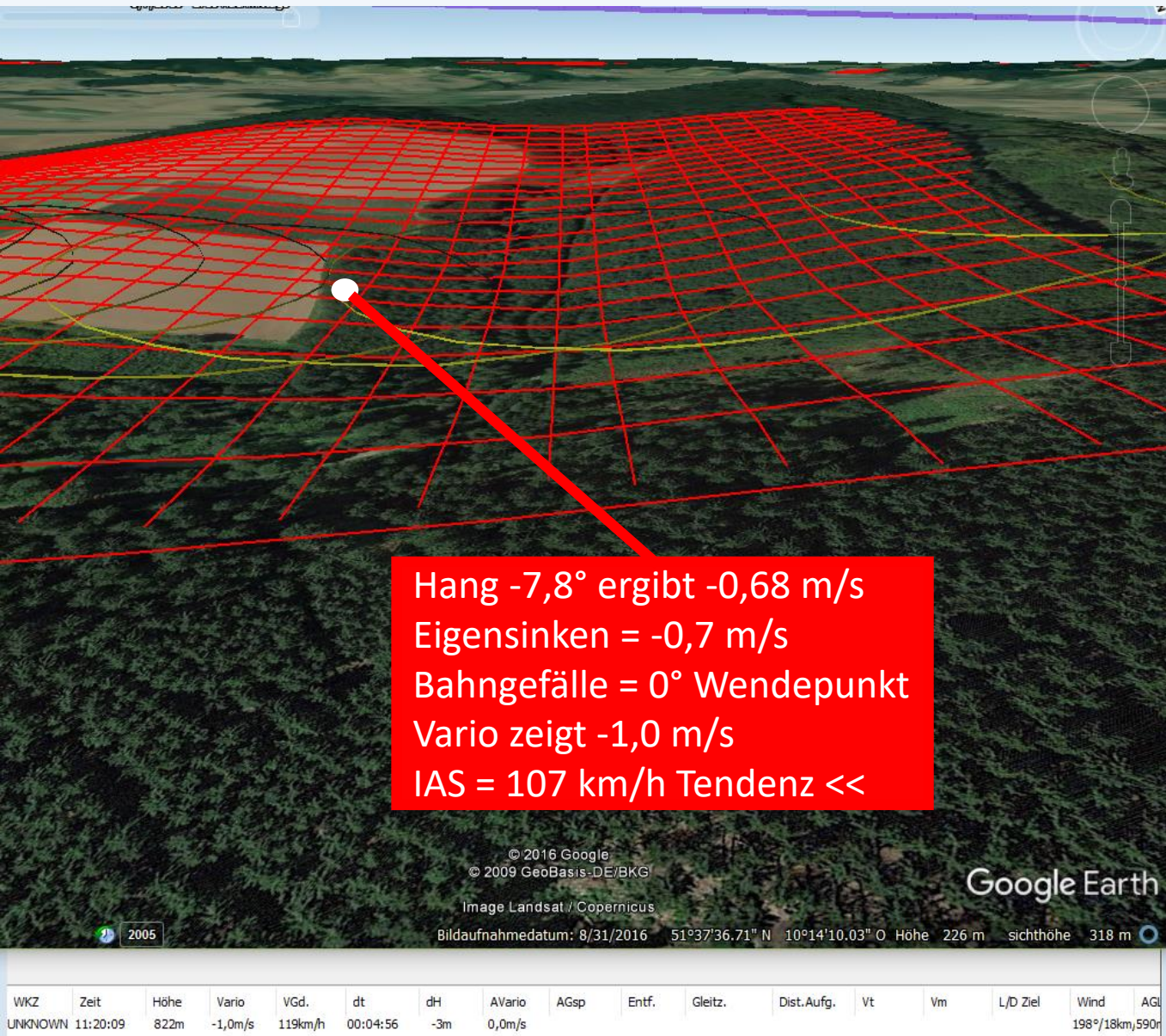
Bewegt sich das Flugzeug im Luv und in Richtung absteigendem Gelände, so ist die Potentialänderung groß. Das Steigen erfährt hohe Werte, bzw. die Thermik kann ungehindert aufwärts strömen

Potentialtheorie

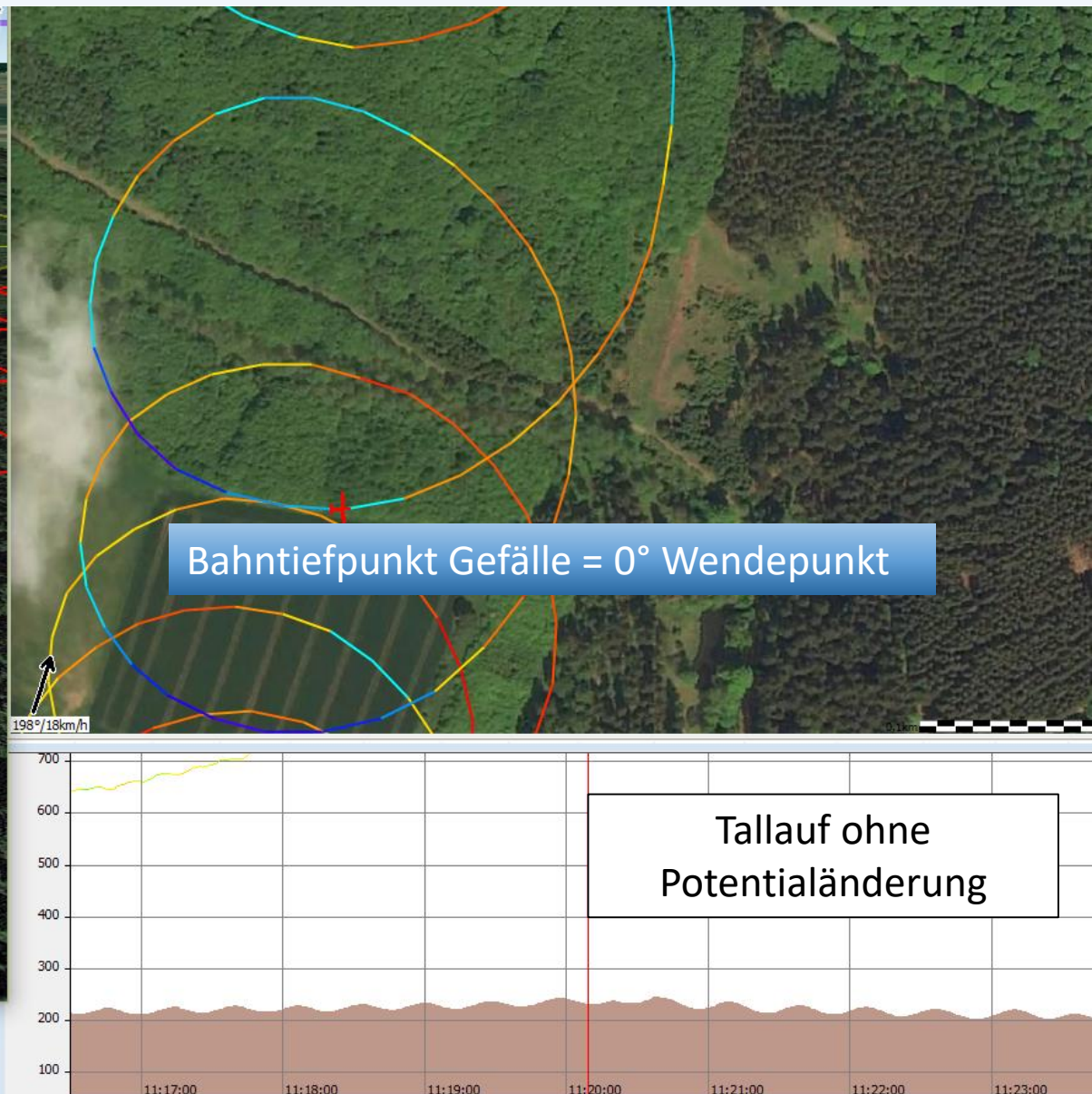


Bewegt sich das Flugzeug im Lee und in Richtung aufsteigendem Gelände, so ist die Potentialänderung groß. Das Steigen erfährt negative Werte, bzw. die Thermik wird durch den Abwind des Hangs im Steigen behindert.

Potentialtheorie

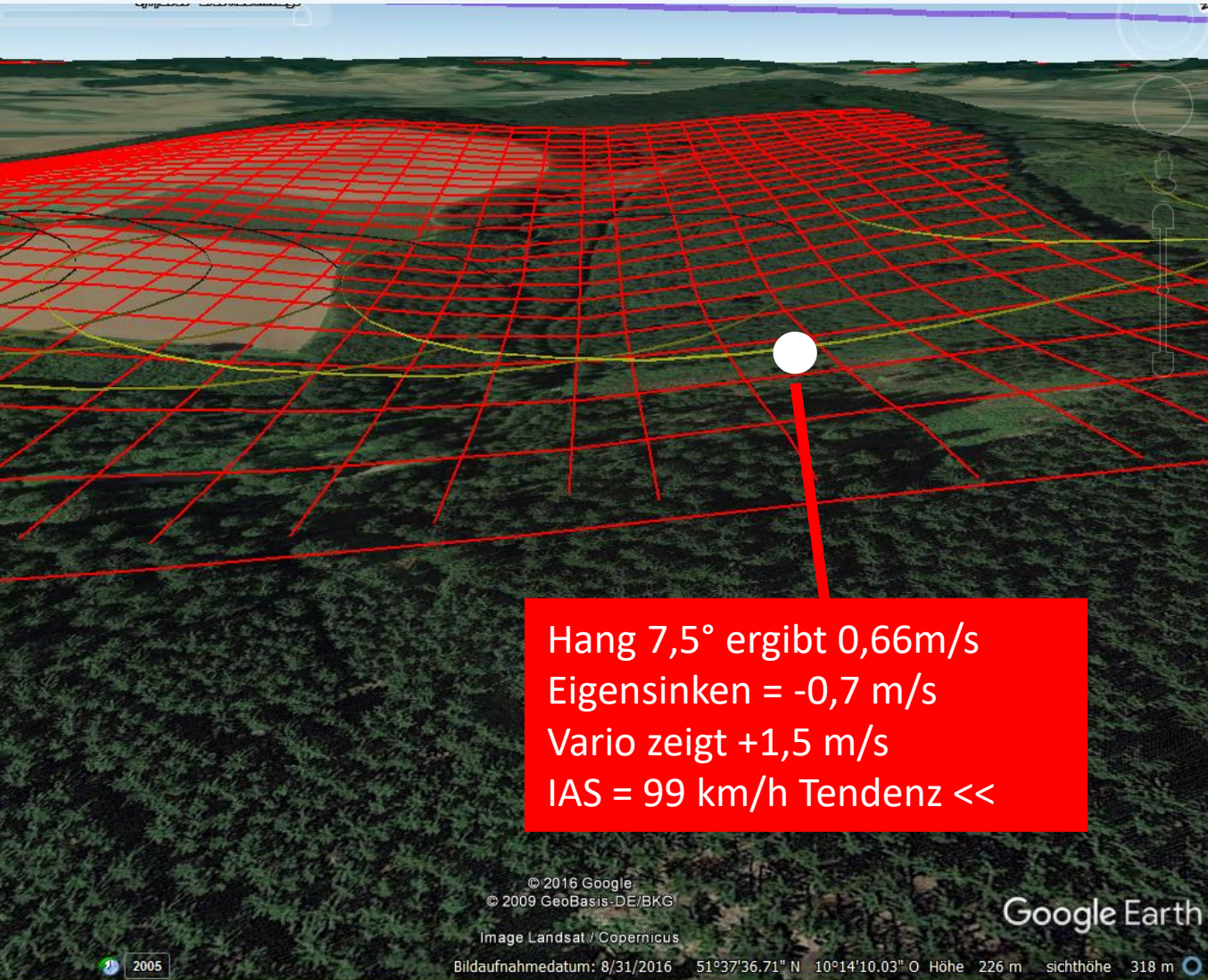


Hang $-7,8^\circ$ ergibt $-0,68$ m/s
Eigensinken = $-0,7$ m/s
Bahngefälle = 0° Wendepunkt
Vario zeigt $-1,0$ m/s
IAS = 107 km/h Tendenz <<

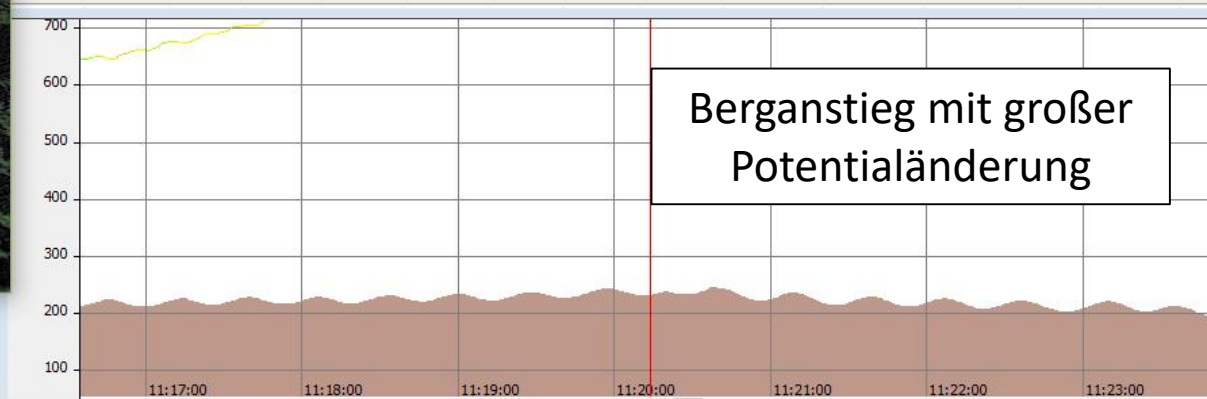
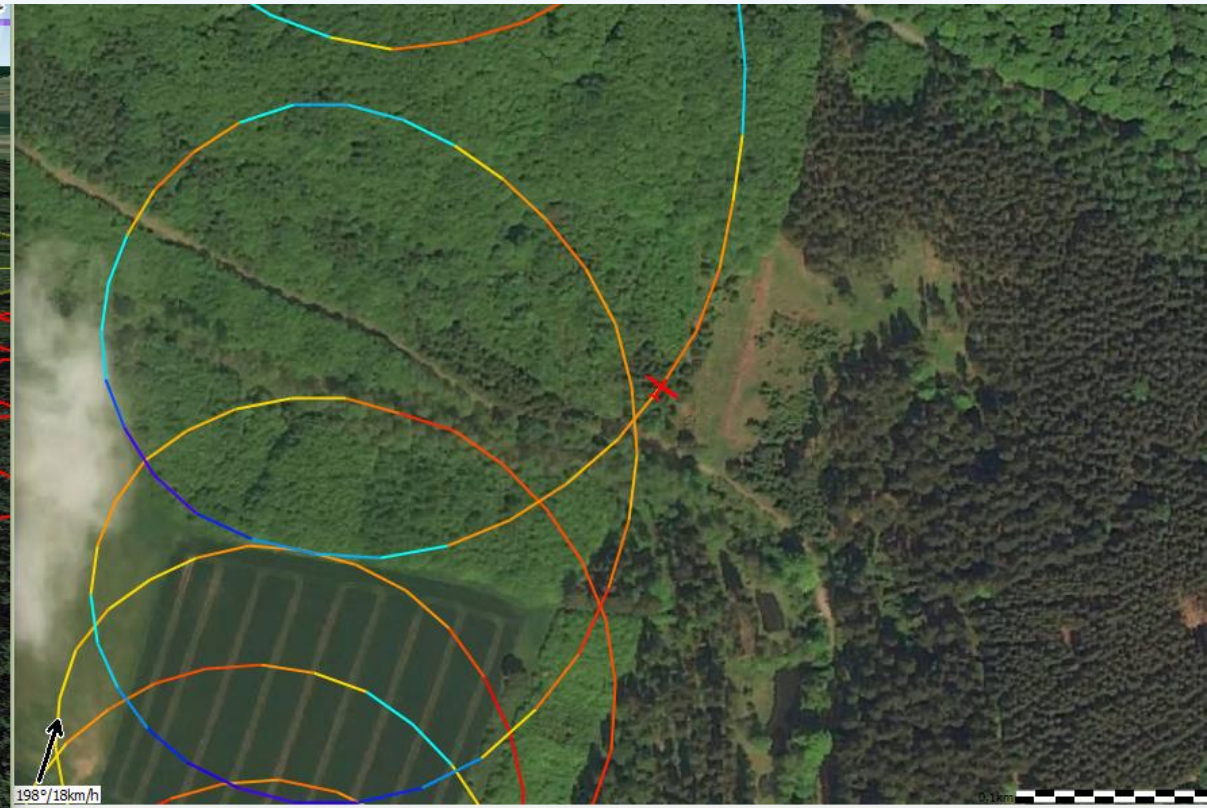


Bewegt sich das Flugzeug im Lee und auf gleichbleibender Bodenhöhe, so ist die Potentialänderung gleich null. Das Steigen erfährt keine Unterstützung durch den Hang

Potentialtheorie

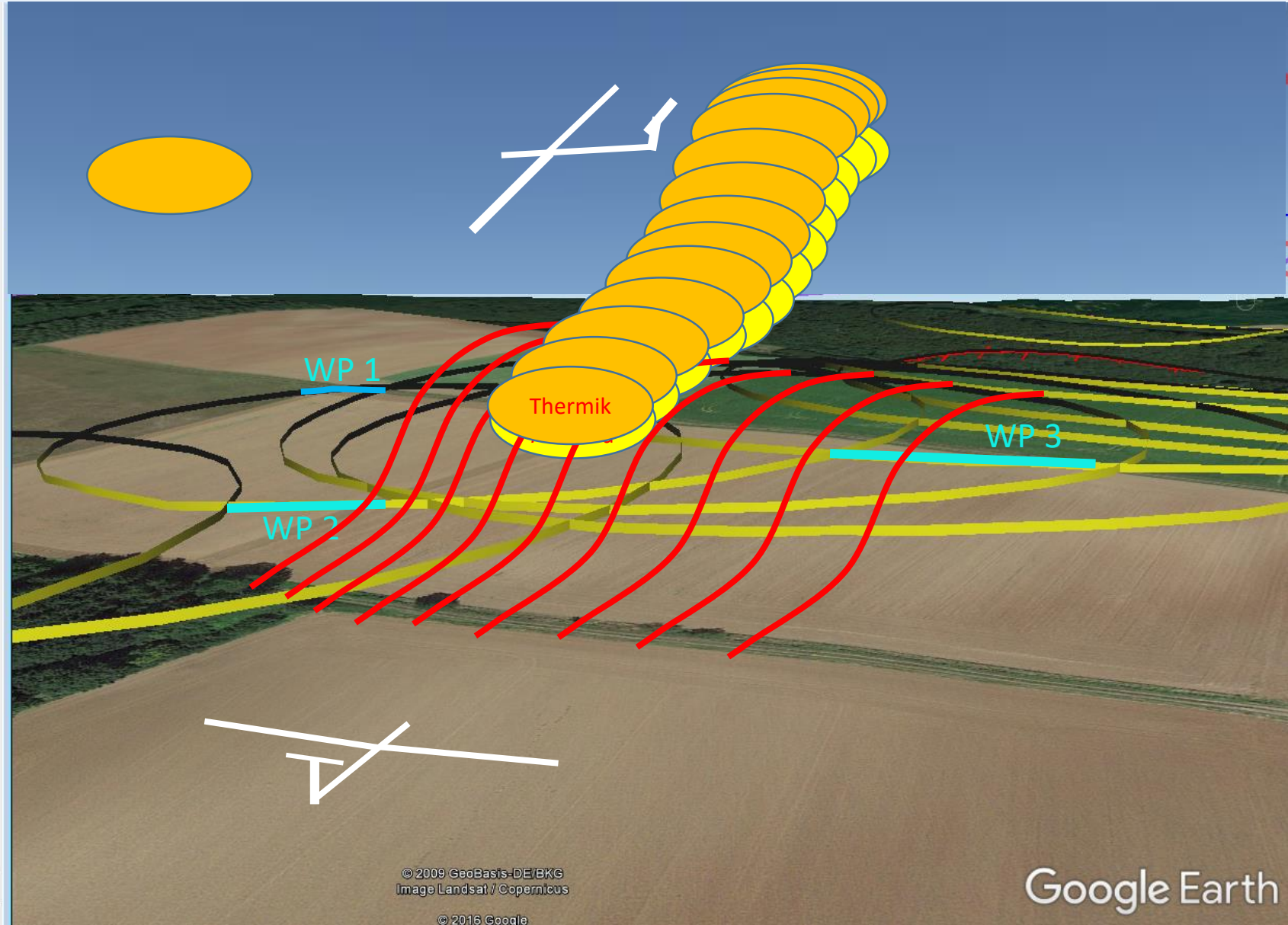
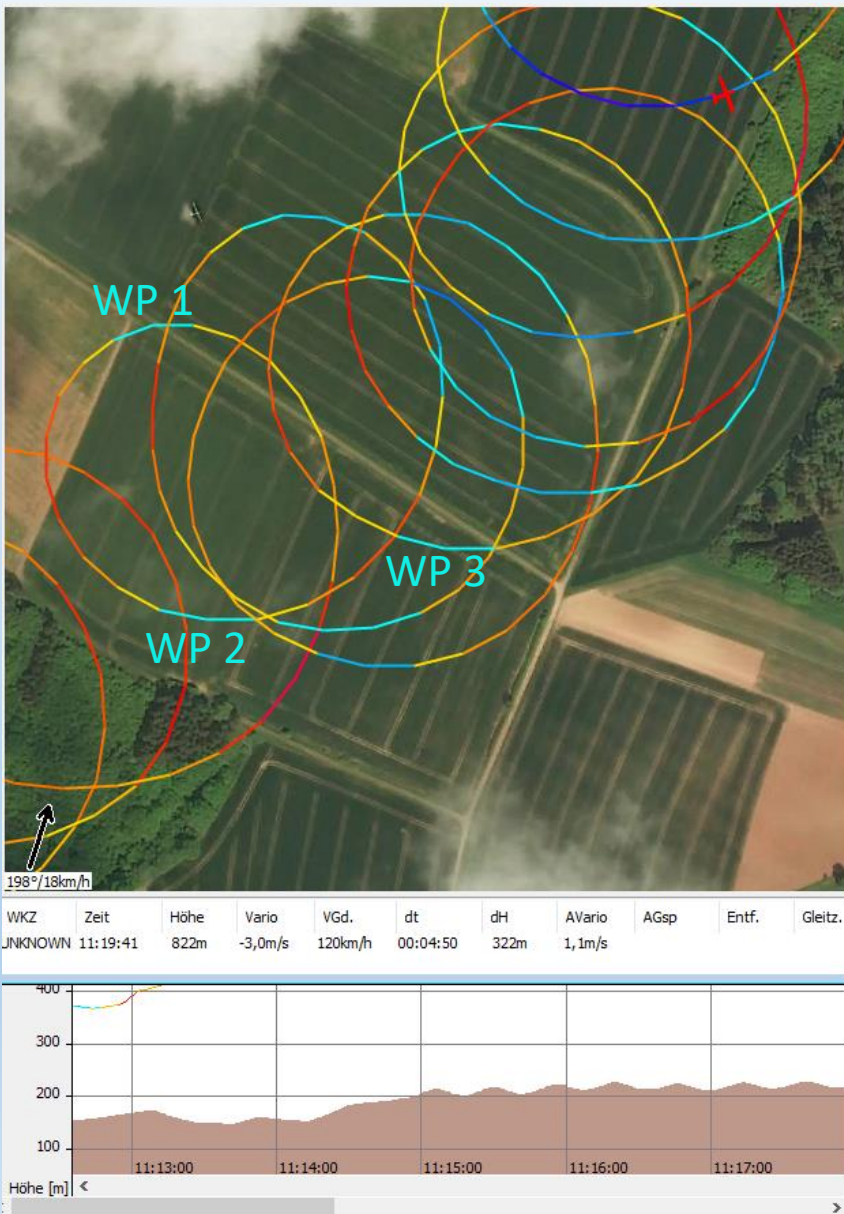


Hang 7,5° ergibt 0,66m/s
Eigensinken = -0,7 m/s
Vario zeigt +1,5 m/s
IAS = 99 km/h Tendenz <<

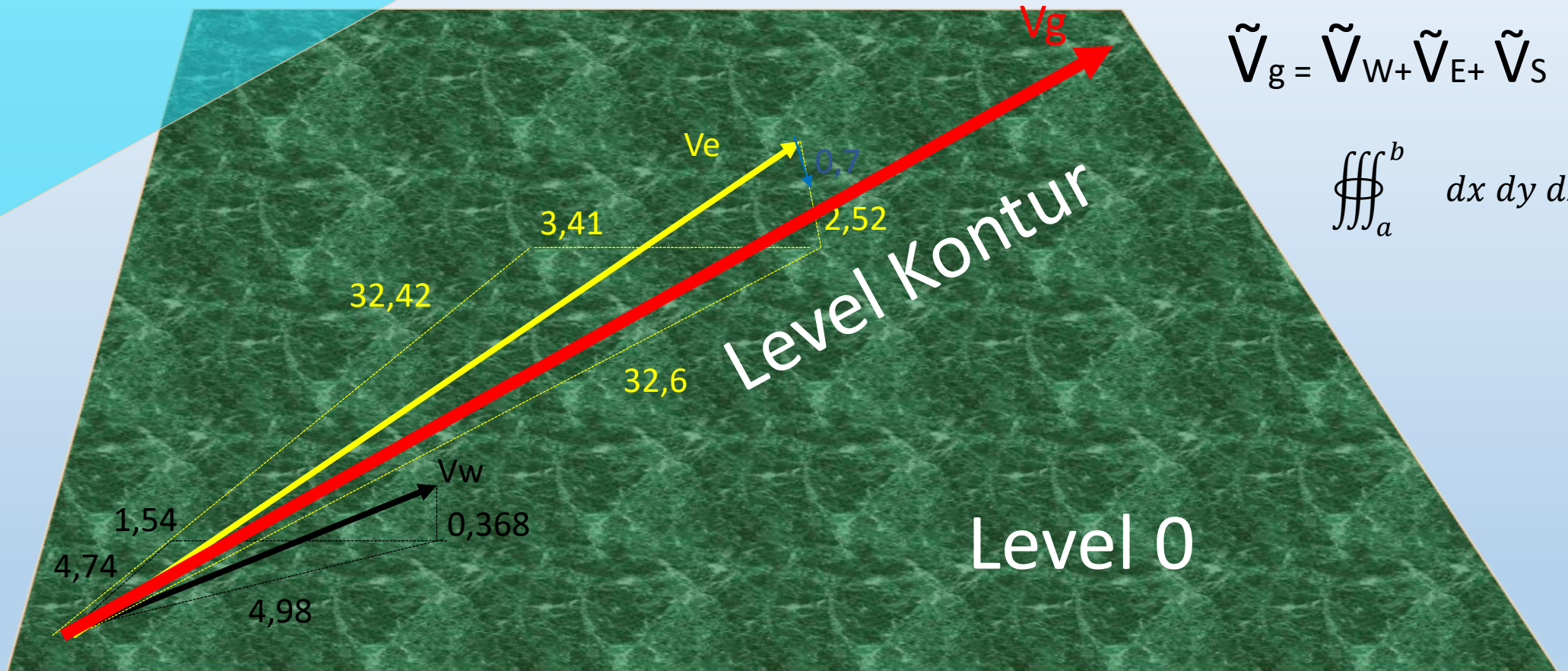


Bewegt sich das Flugzeug im Luv und in Richtung aufsteigendes Gelände, so ist die Potentialänderung groß. Das Steigen erfährt den Maximalwert, bzw. die Thermik kann ungehindert aufwärts strömen

Zusammenhang Wendepunkt und Thermik-Drift



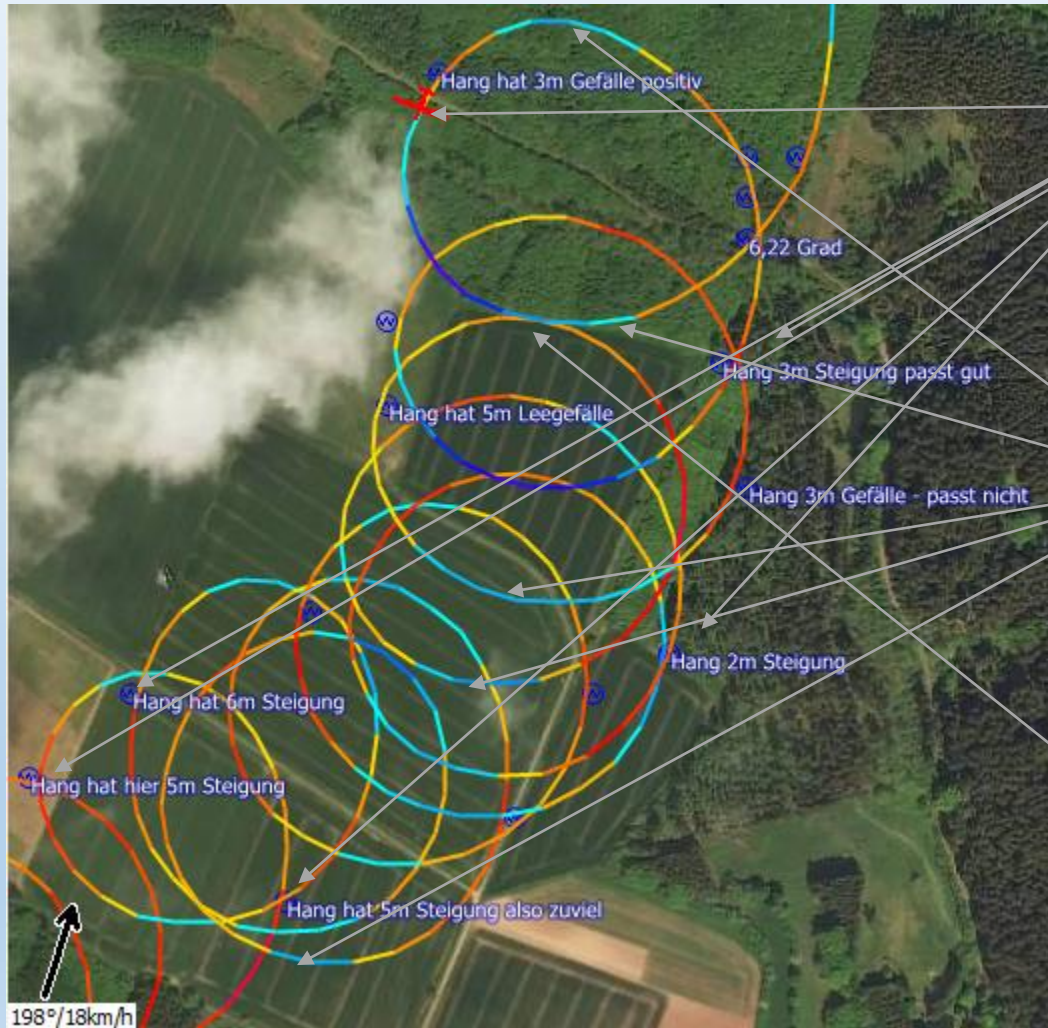
3D Momentaufnahme im Kreisflug



$$\tilde{V}_g = \tilde{V}_W + \tilde{V}_E + \tilde{V}_S$$

$$\iiint_a^b dx dy dz$$

Thermik und Hangneigung

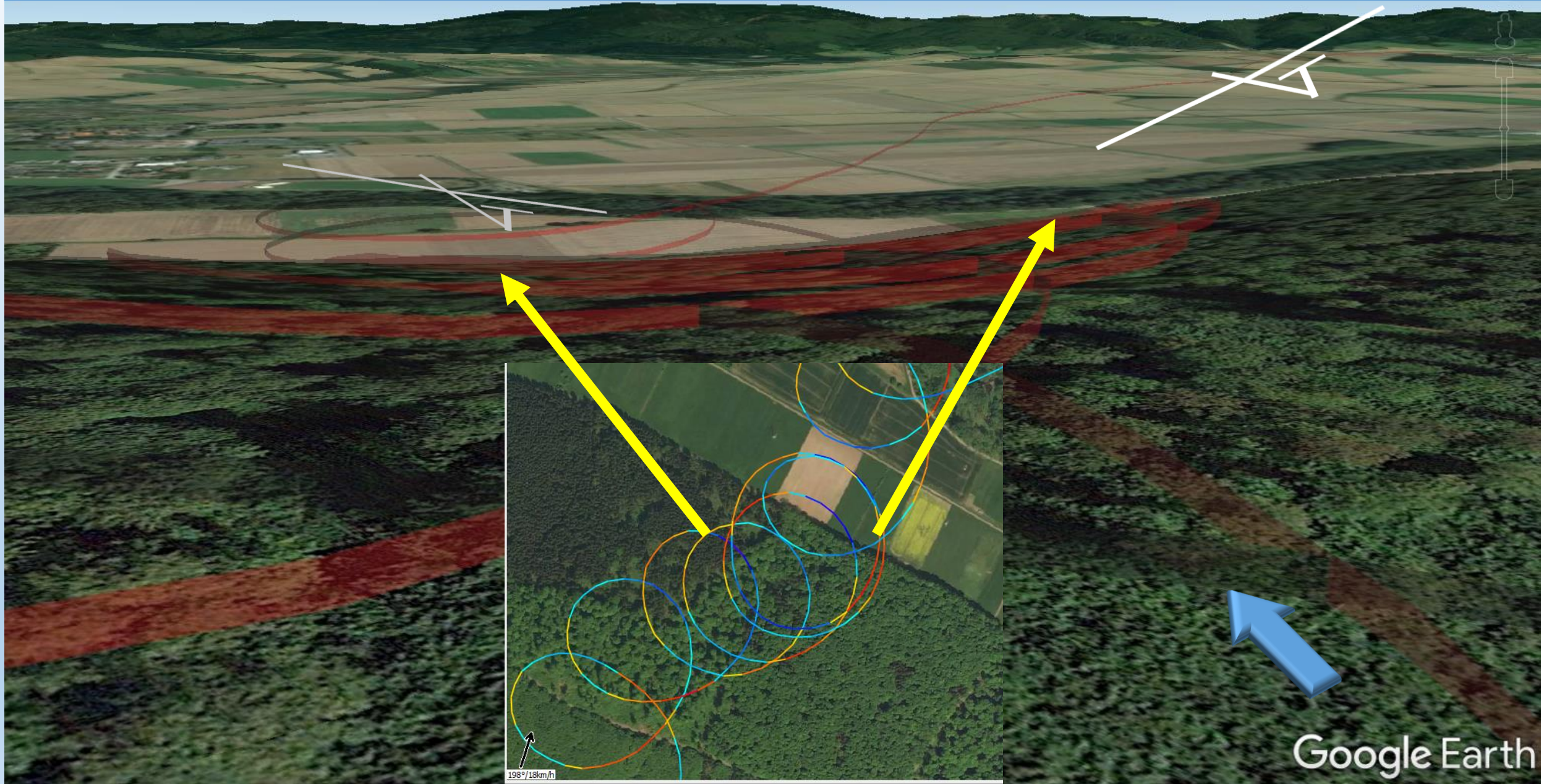


Angezeigtes Steigen ist etwas kleiner als die Hangneigung

Sinken oder vermindertes Steigen ist häufig bei geringem Bahngefälle quer zum Wind

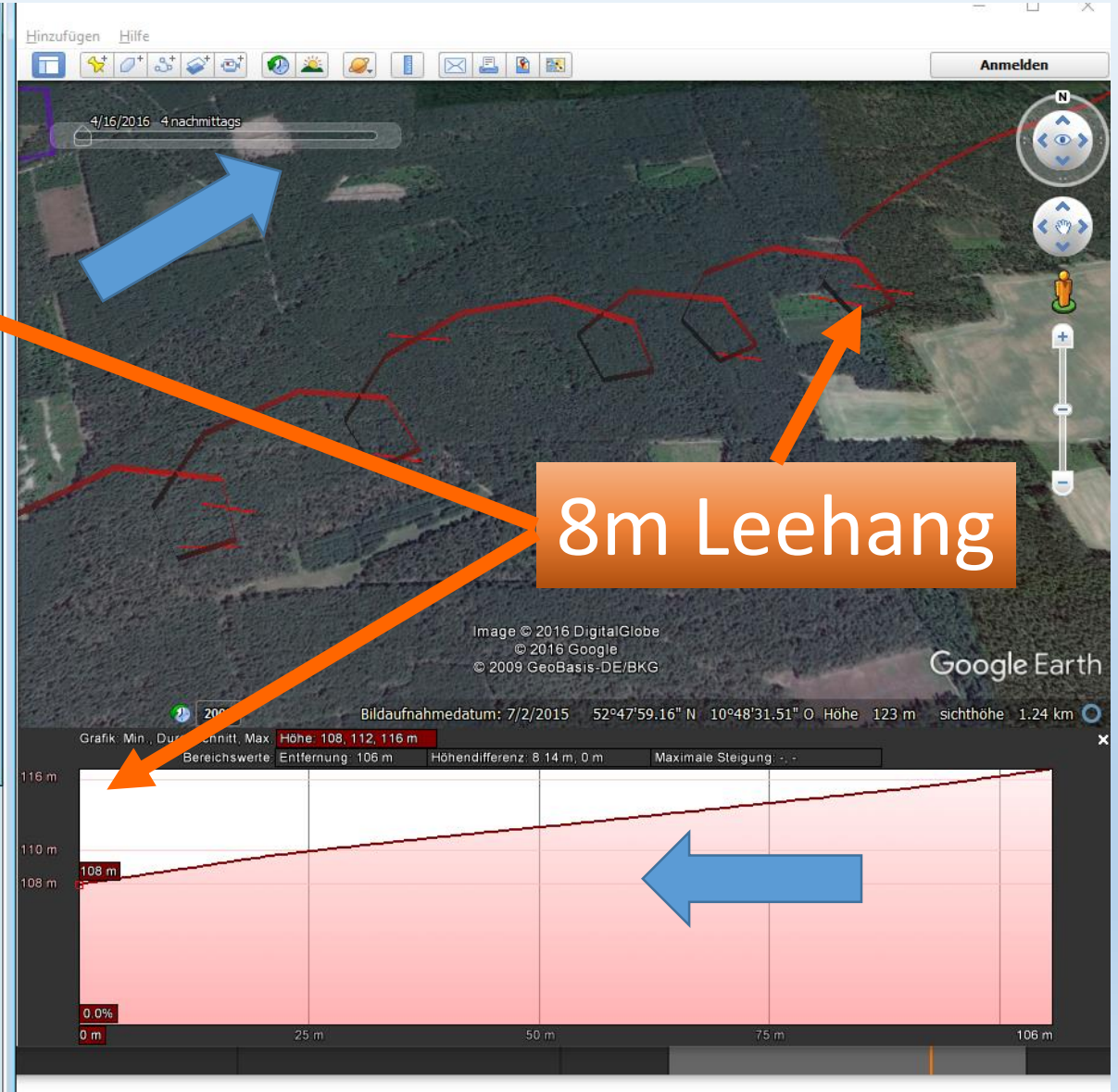
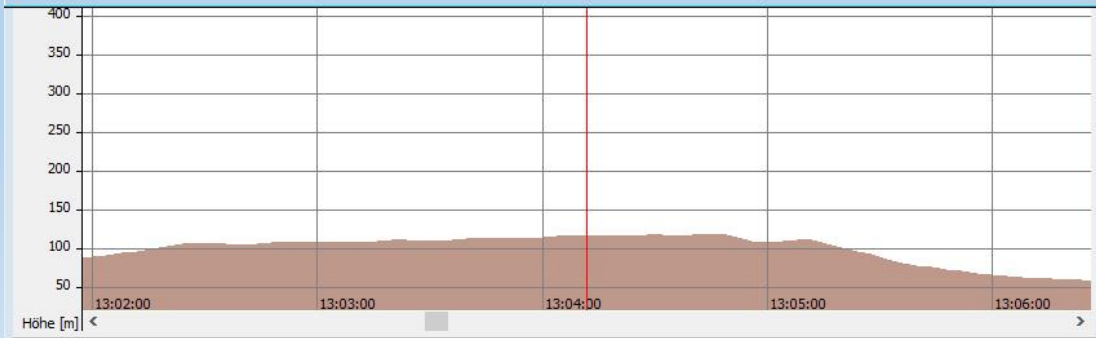
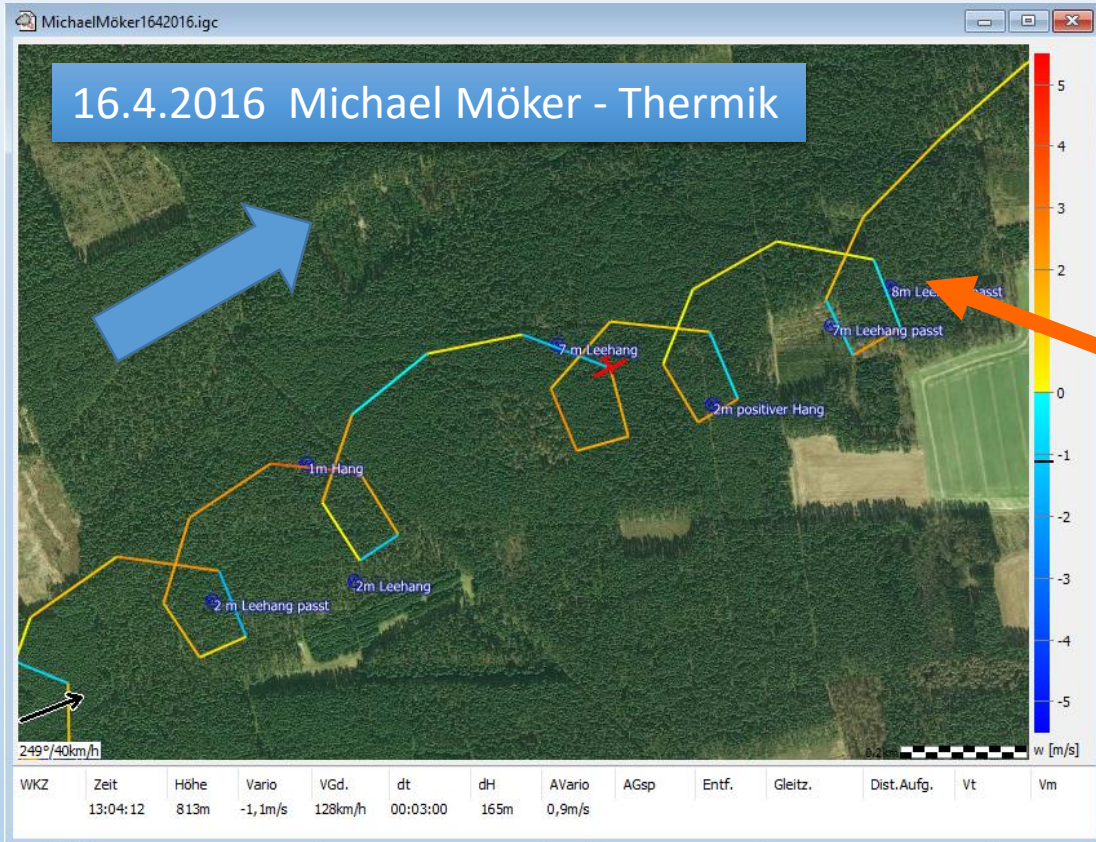
Flache Bereiche beeinflussen das Steigen/Sinken der Thermik unwesentlich

Lee-Hang



Google Earth

Thermik und Hangneigung



Hangwind, Welle und Thermik

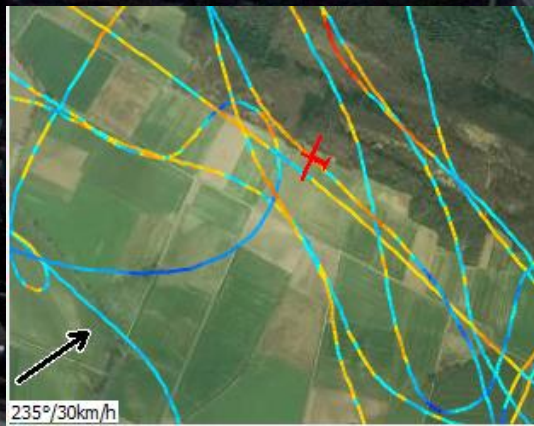
16.4.2016



Wellenaufwind im wolkenfreien Bereich

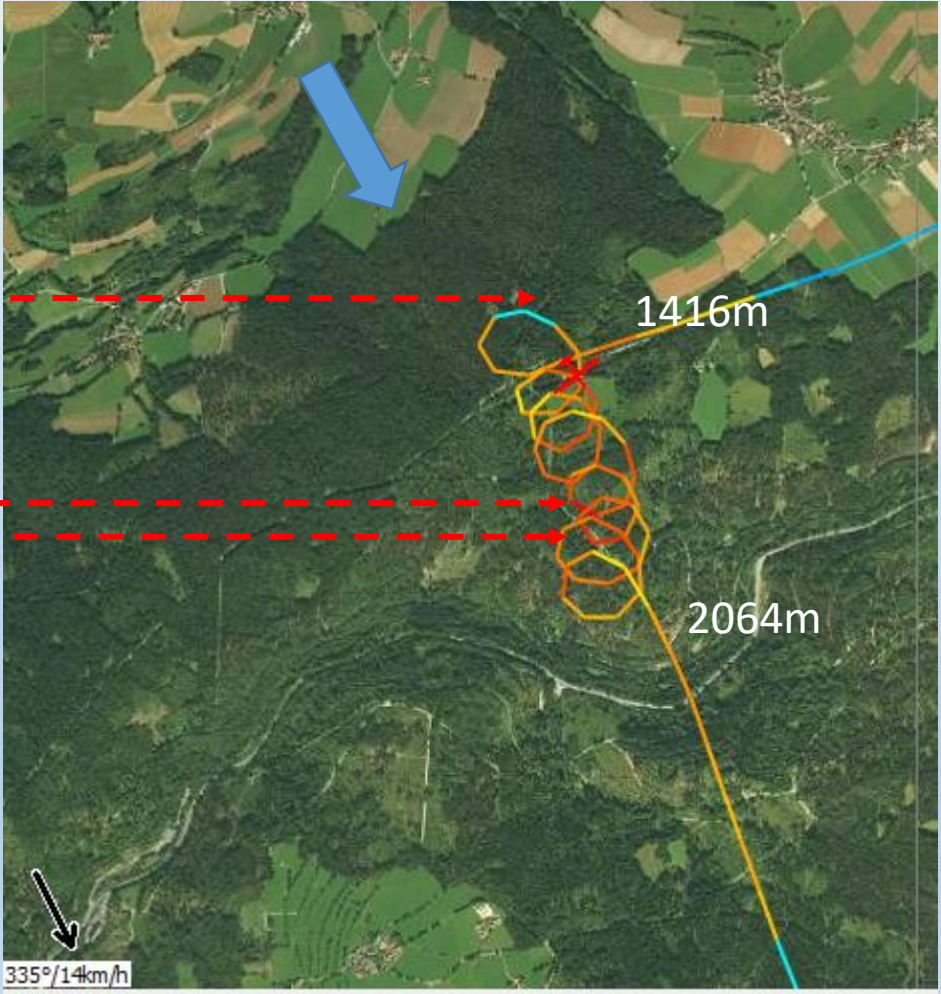
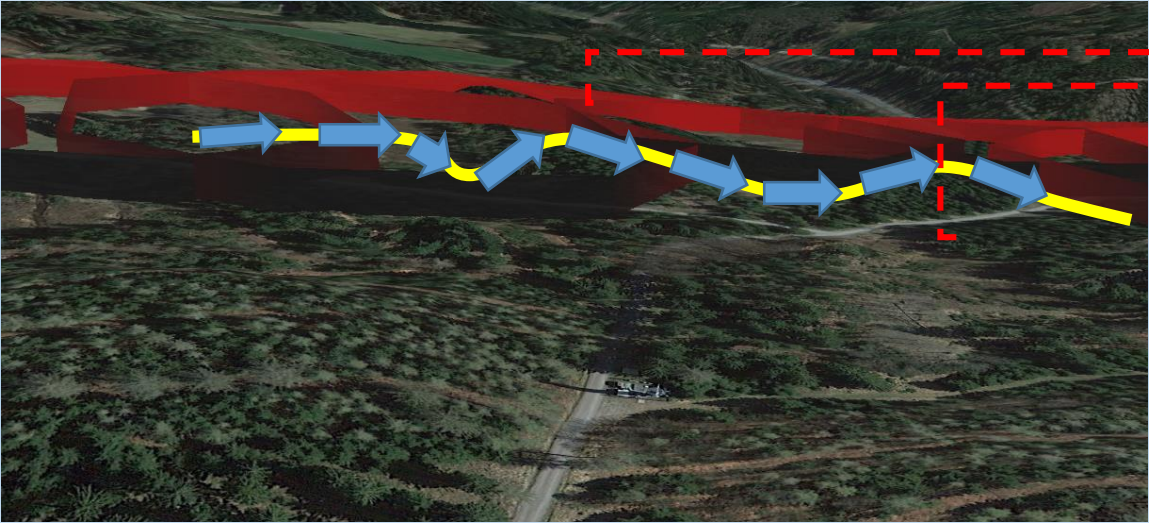
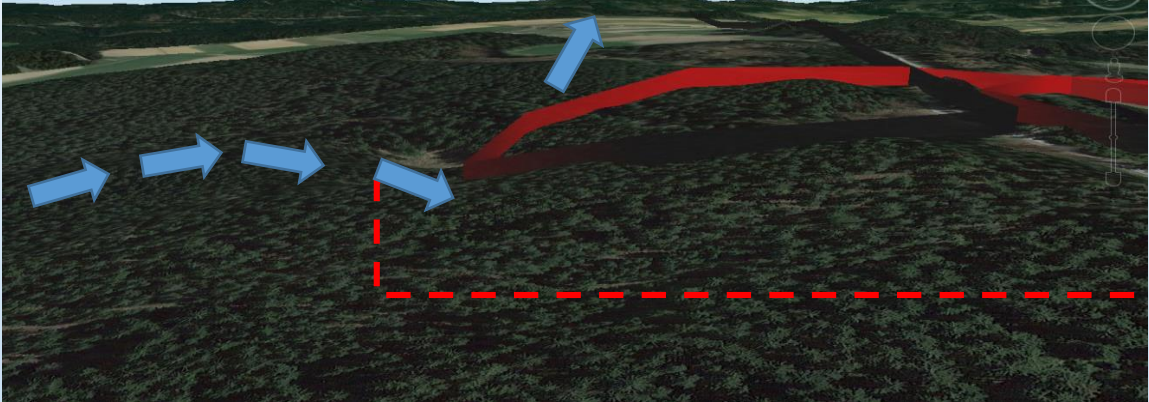
Wellenaufwind in 1500m ü. Grund

Wellenaufwind mit 30km/h Wind

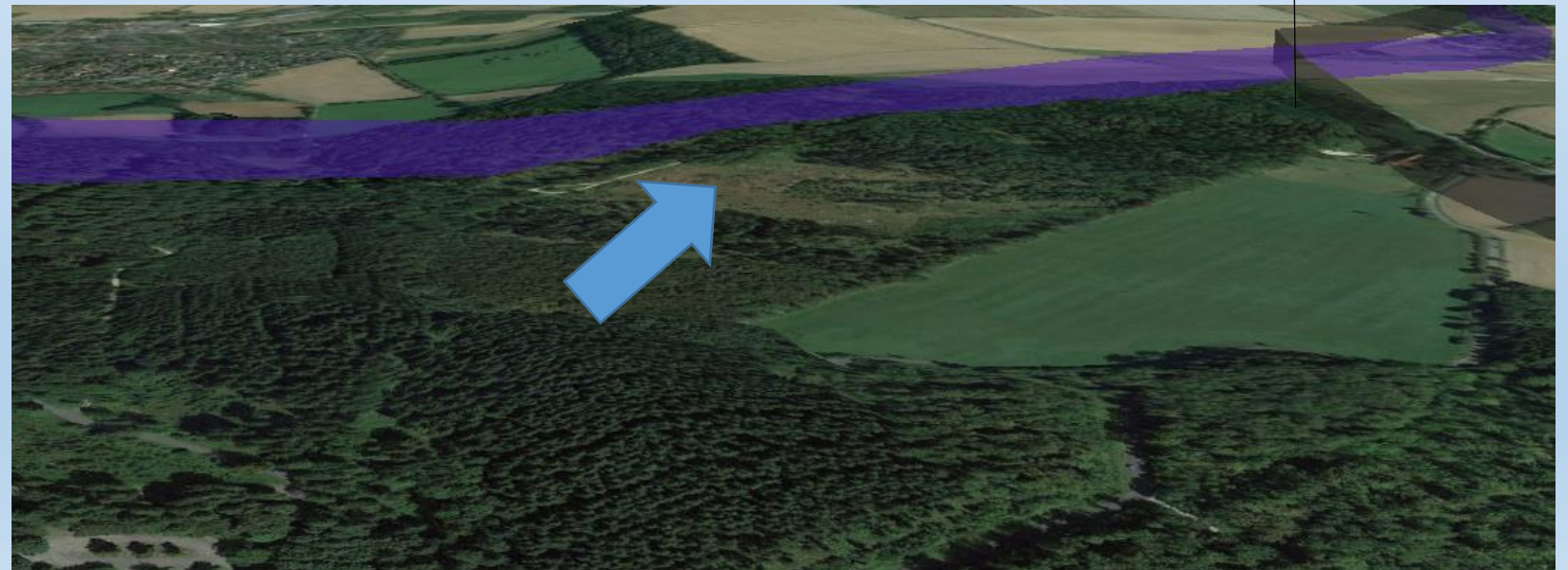
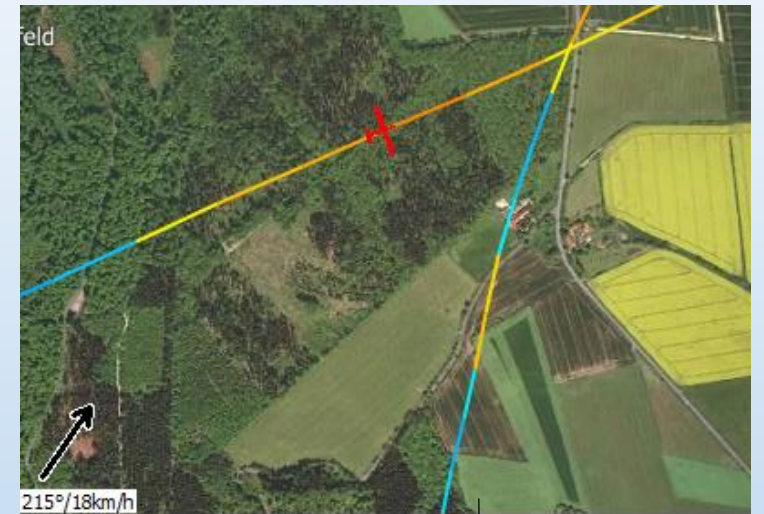


Thermik und Welleneinfluss am Leehang

20.7.2016 Matthias Picht



Kontureinfluss beim Vorflug





Den richtigen Kurs wählen!

Emme^{S10}

Ende

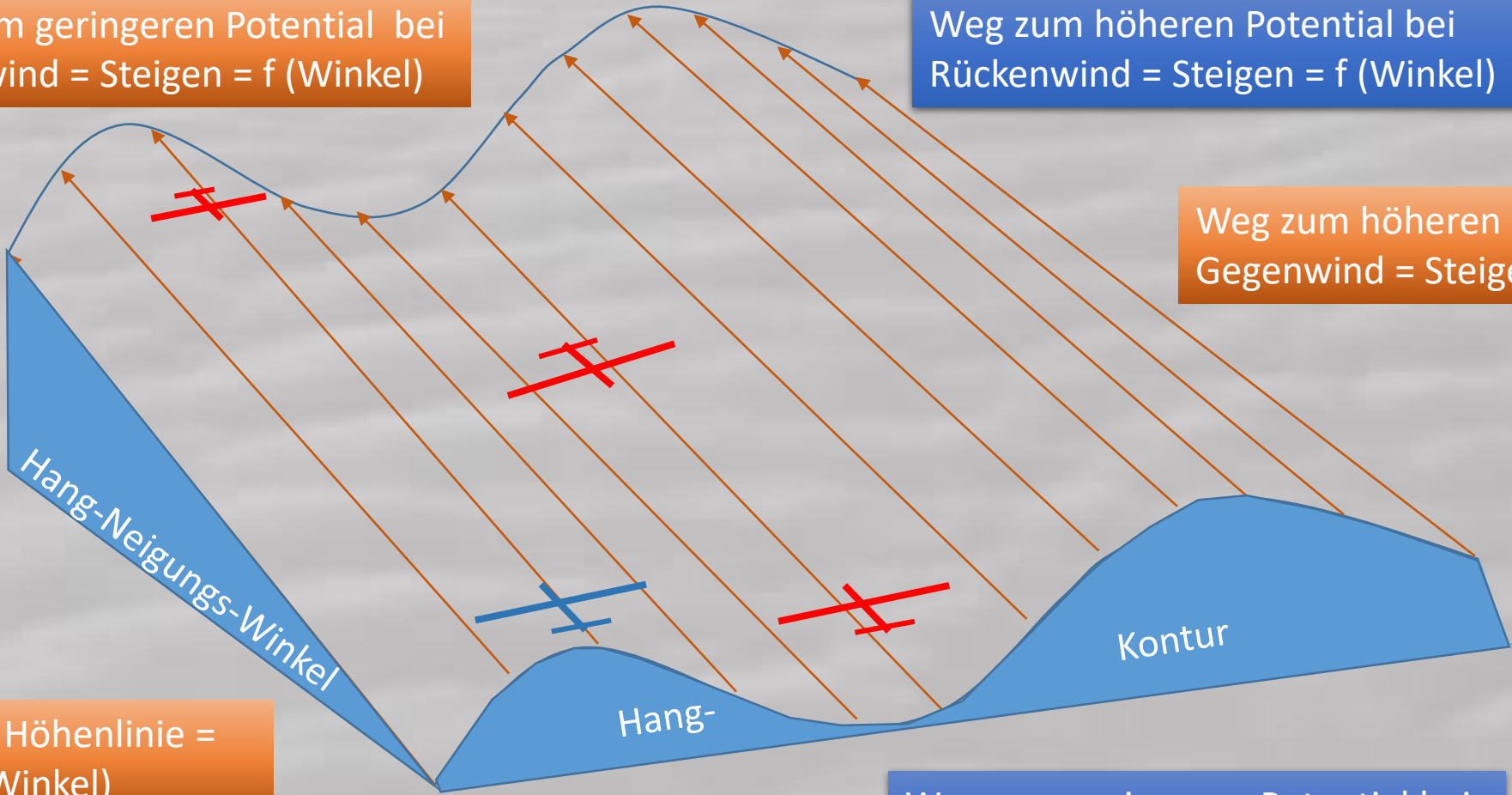
BackUp

Potential-Lösungsansatz

Weg zum geringeren Potential bei Gegenwind = Steigen = $f(\text{Winkel})$

Weg zum höheren Potential bei Rückenwind = Steigen = $f(\text{Winkel})$

Weg zum höheren Potential bei Gegenwind = Steigen = $f(\text{Winkel})$



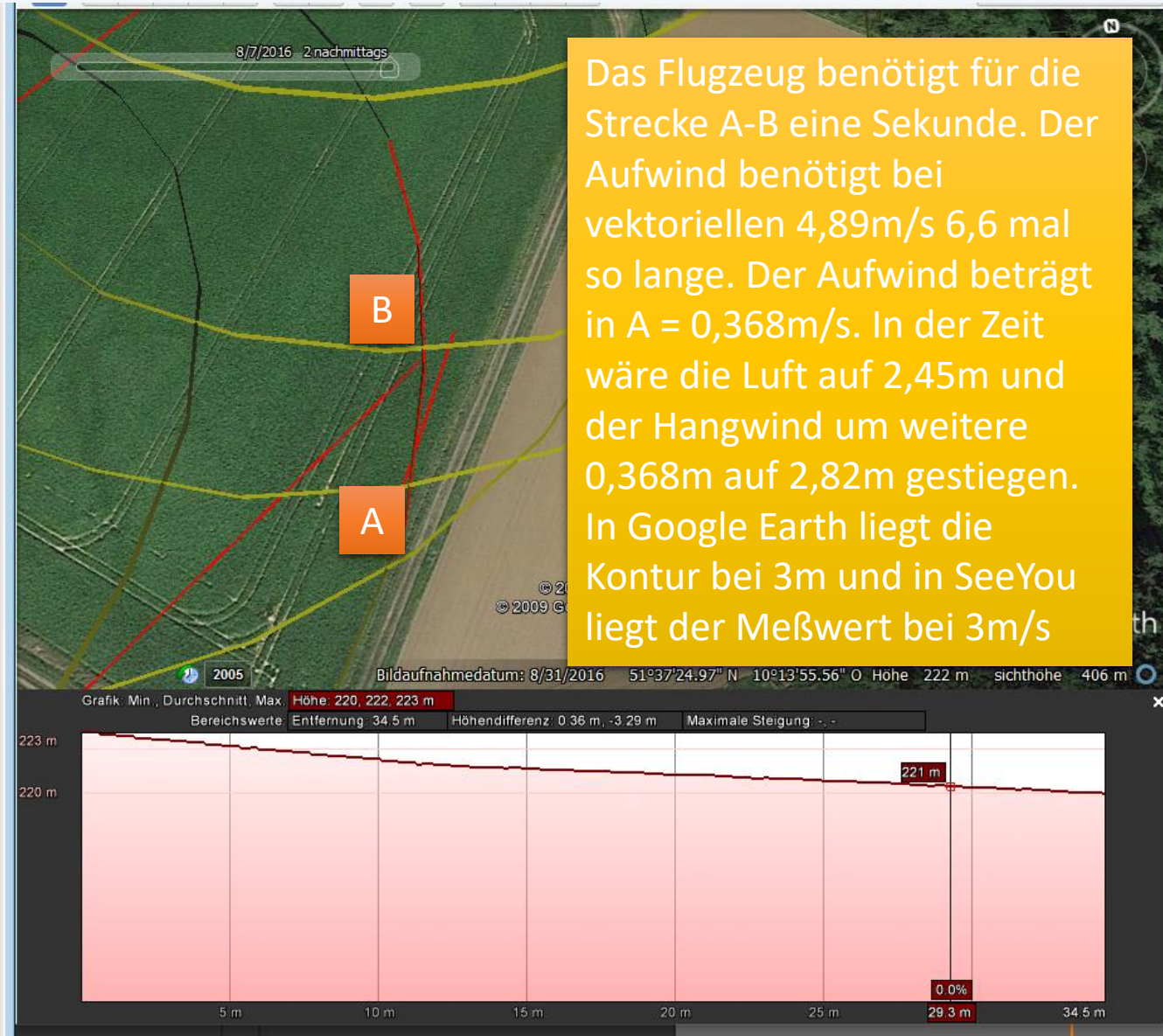
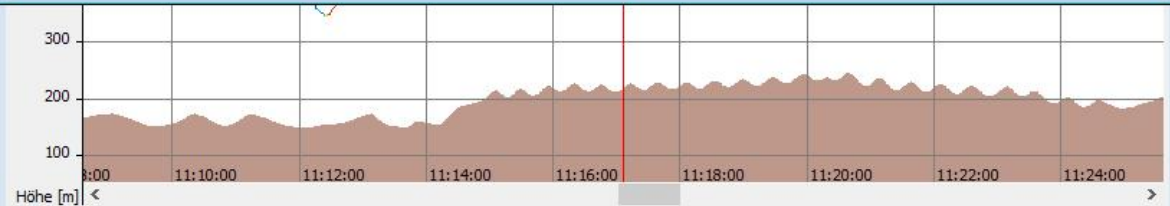
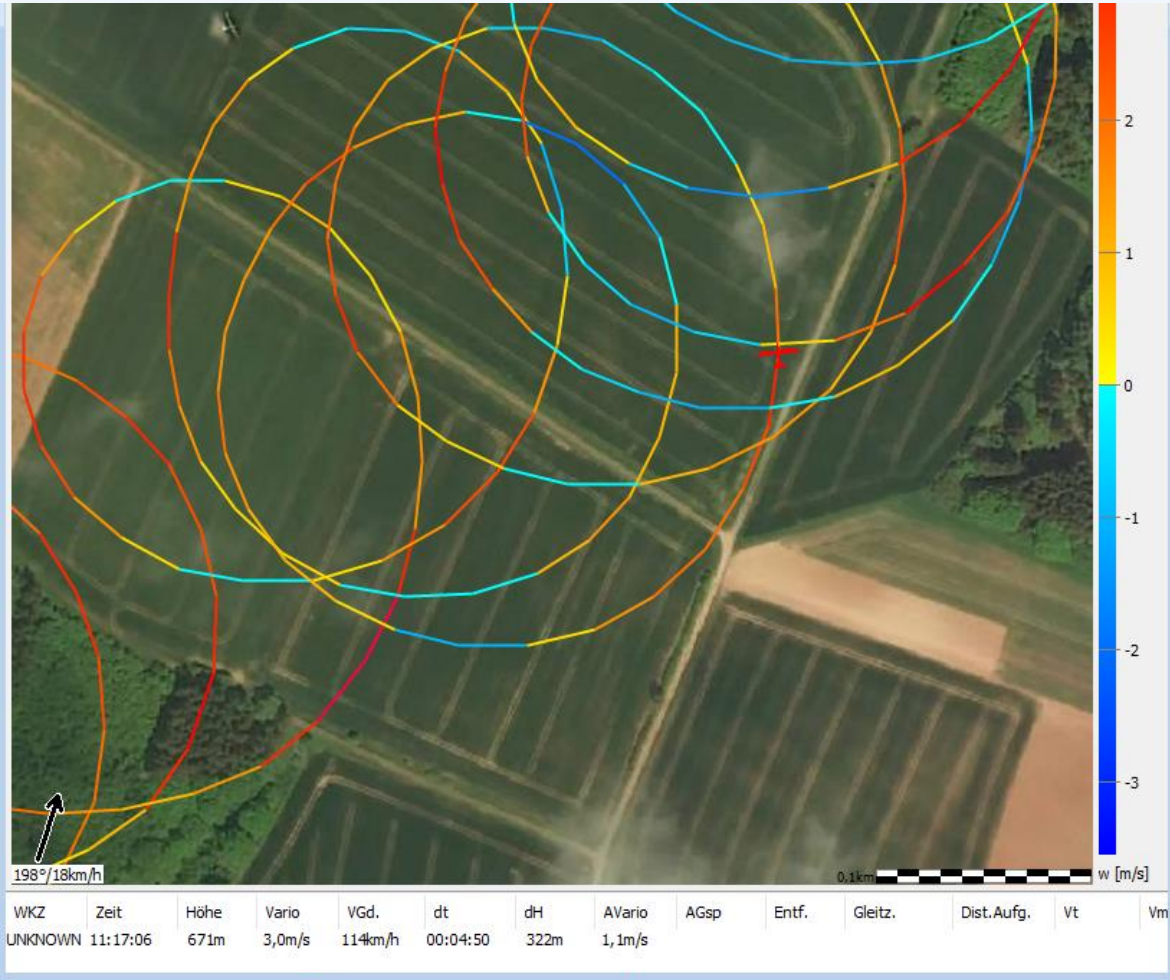
Weg äquivalent zur Höhenlinie = Steigen/Fallen = $f(\text{Winkel})$

Weg zum geringeren Potential bei Rückenwind = Fallen = $f(\text{Winkel})$

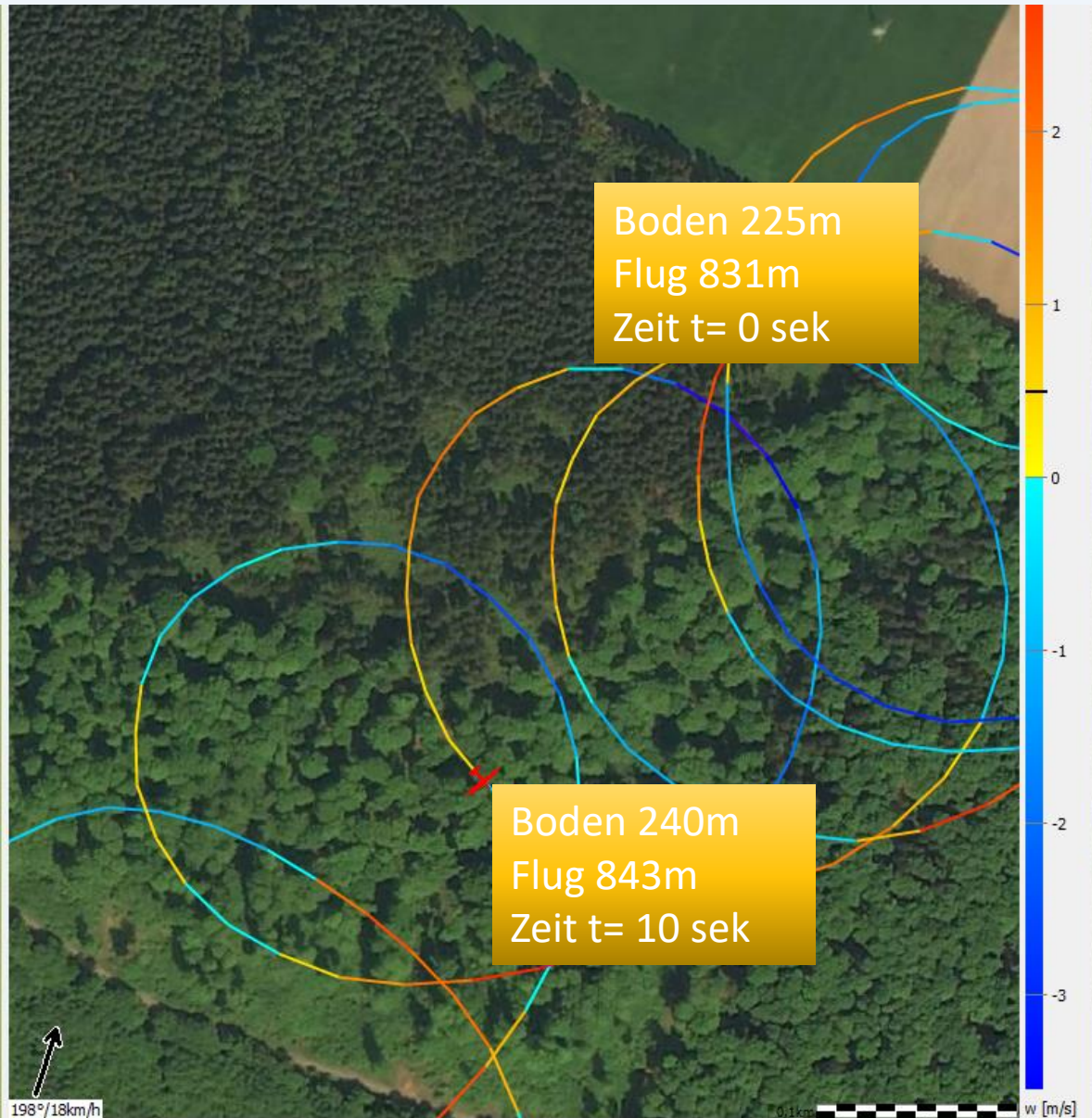
Potential-Analyse

- Werden Thermik und Windströmung über einer Boden-Kontur zusammengelegt, so gibt es auf der Luvseite eine Addition mit Thermikverstärkung und auf der Leeseite eine Verringerung
- Im Luv ist bei zunehmend steilerem Hang das windinduzierte Steigen größer. Es ist ein größeres positives Potential gegeben
- Im Lee ist allgemein von einem Sinken der Luftmassen auszugehen, also von einem negativen Potential
- Sind in der Kontur einzelne Verwerfungen vorhanden, so hat dies mittelbar einen Einfluss auf die resultierende Steiggeschwindigkeit
- Im Leebereich führt eine Terrasse zur Änderung des Strömungs-Sinkens und die durch Thermik bedingte Komponente erfährt weniger Sinken

Rechnerischer Nachweis



Nachweis der Potential-Theorie



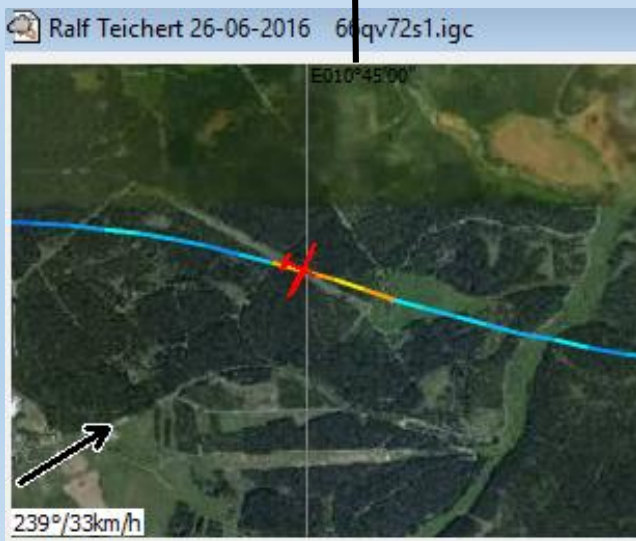
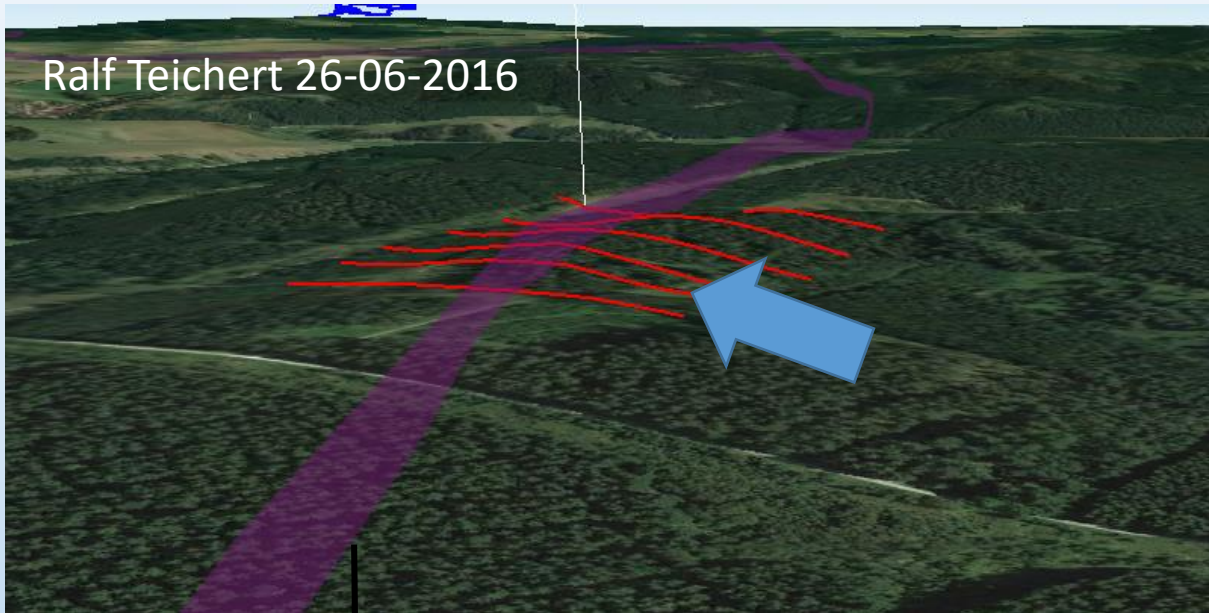
Δ Flug 843-831 = 12m
 Δ Boden 240-225 = 15m
 Hanggefälle 3,8° = 0,3m/s = 3,3m
 Δ Zeit t= 10 sek

Ergebnis:
 Das Flugzeug steigt 12 m im Lee
 gegen den Wind, weil das
 Gelände 15m unter dem Flugzeug
 ansteigt und die Luft in der Zeit
 um 3,3m sinkt

WKZ	Zeit	Höhe	Vario	VGd.	dt	dH	AVario	AGsp	Entf.	Gleitz.	Dist.Aufg.	Vt
UNKNOWN	11:21:37	843m	0,5m/s	98km/h	00:04:56	-3m	0,0m/s					



Kontureinfluss beim Vorflug



Bahn 237° Gefälle 3,9° Vg= 100km/h = -1,9m/s
Hang 198° Neigung +13,8° =1,19m/s Vario +0m/s

Bahn 227° Gefälle 4:30,7=+7,4° Vg= 98km/h = -3,52m/s
Hang 198° Neigung +12,7° =1,09m/s Vario +1,5m/s

Bahn 212° Gefälle 7,4° Vg= 96km/h = -3,44m/s
Hang 198° Neigung 11,8° =1,03m/s Vario +2m/s

Bahn 201° Gefälle 3:26,5=+6,5° Vg= 94km/h = -2,95m/s
Hang 198° Neigung 5,8° =0,5m/s Vario +1m/s

Bahn 251° Steigung 4,1° Vg= 100km/h = 2m/s
Hang 198° Neigung +16,1° =1,4m/s Vario -1,0m/s

Bahn 270° Steigung 9° Vg= 100km/h = 4,38m/s
Hang 198° Neigung +15,16° =1,3m/s Vario -0,5m/s

Bahn 285° Steigung 10° Vg= 100km/h = 4,86m/s
Hang 198° Neigung +15,94° =1,37m/s Vario 0m/s

Bahn 297° Steigung 9,8° Vg= 100km/h = 4,72m/s
Hang 198° Neigung +15,29° =1,32m/s Vario 0,5m/s

