

# 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



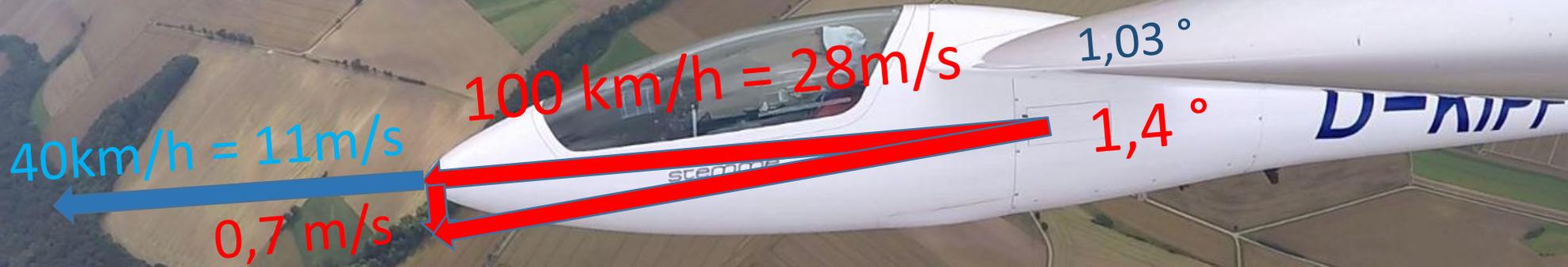
# Grundlagen zur Spurendeutung

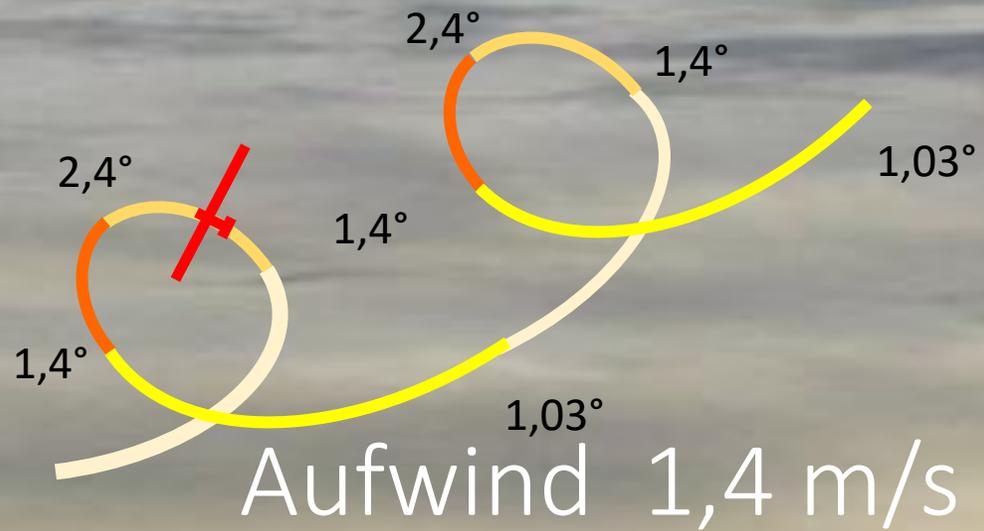
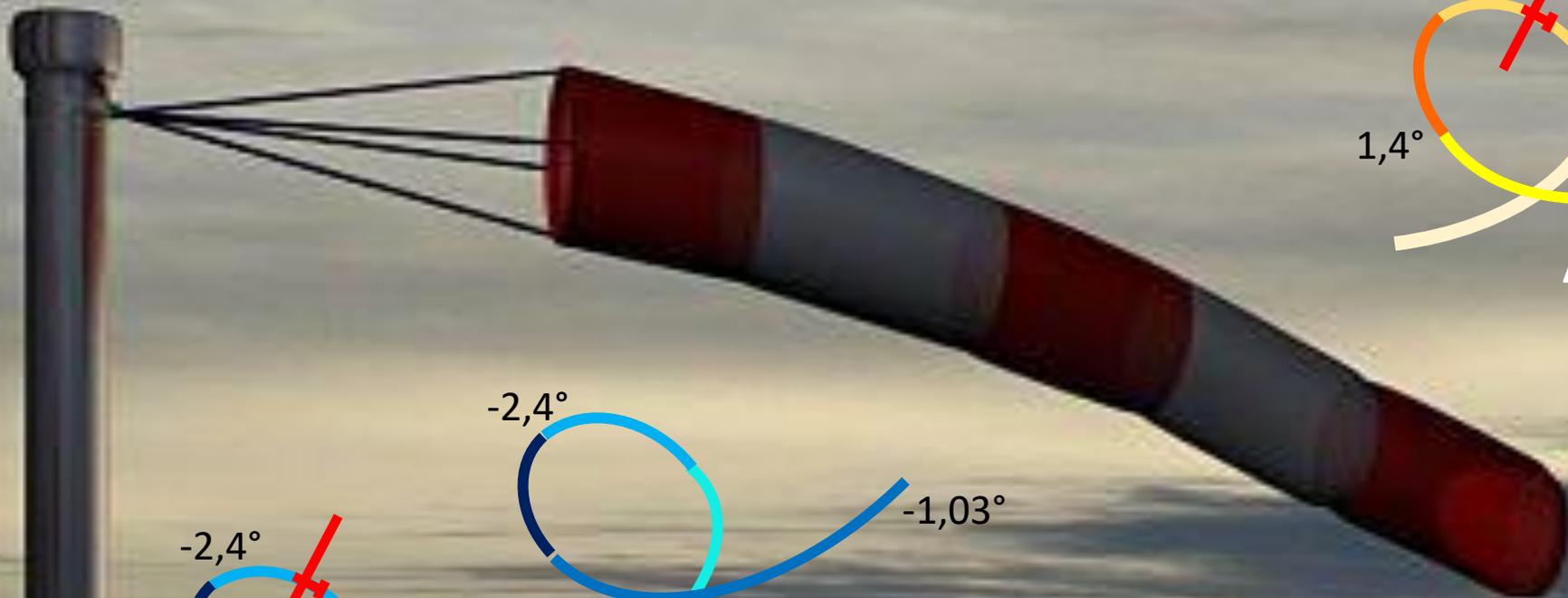


# Gegenwind

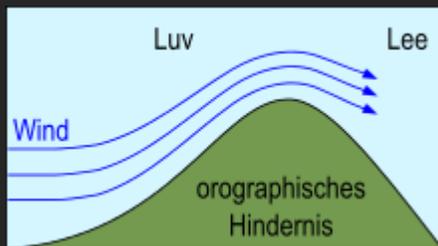


# Mitwind





# Hangaufwind



# Hangaufwind

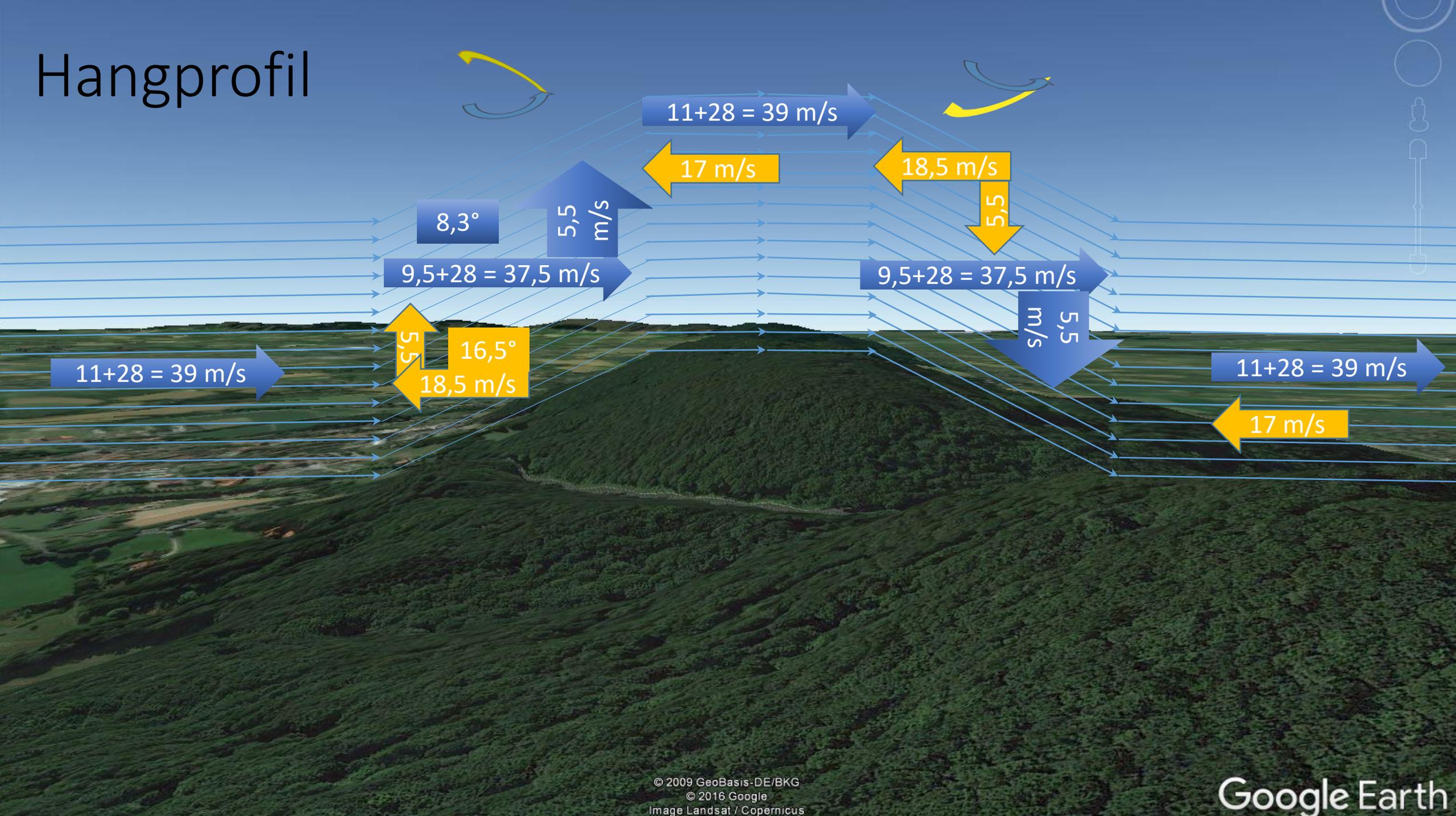
Schnathorst  
Hangform und Windrichtung

Aufwind-  
Schwerpunkt

Aufwind-  
Schwerpunkt

Basis-DE/BKG  
6 Google

# Hangprofil



# Hangflug

Flugspuren Reinhard Schramme 16-04-2016

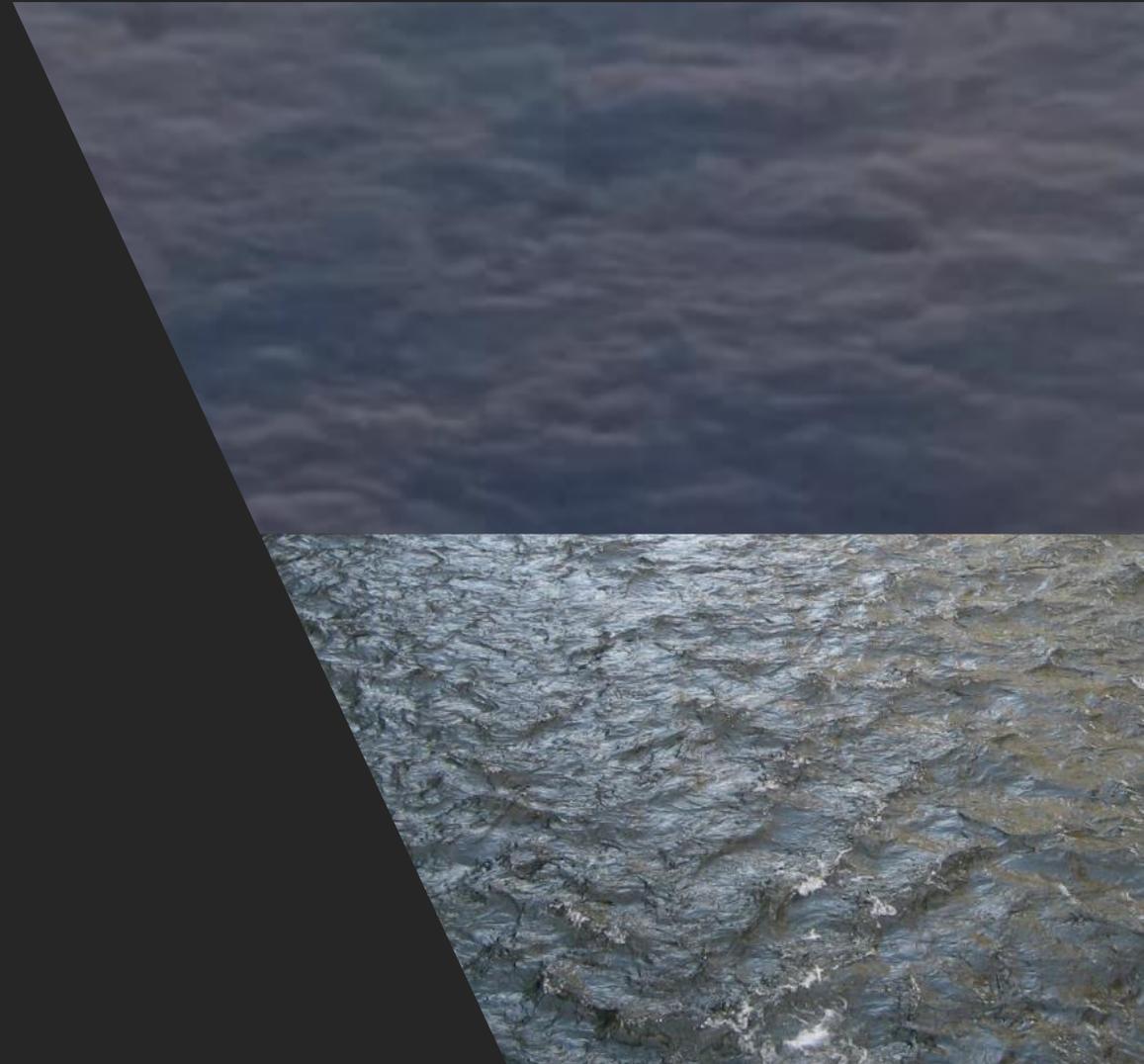
225° 49km/h

- 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

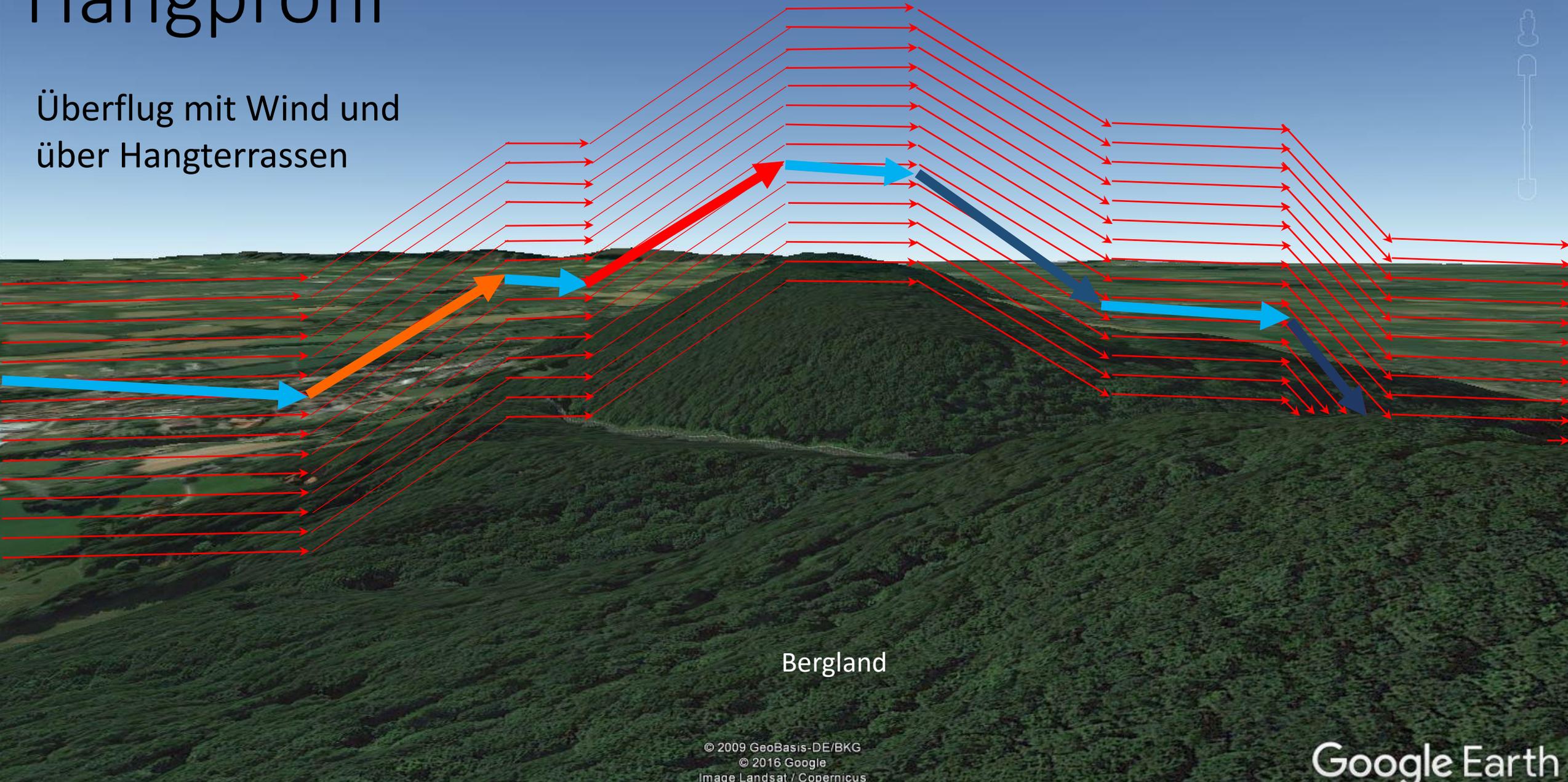
2,0km

# Steigen/Fallen in Abhängigkeit der Bodenkontur?



# Hangprofil

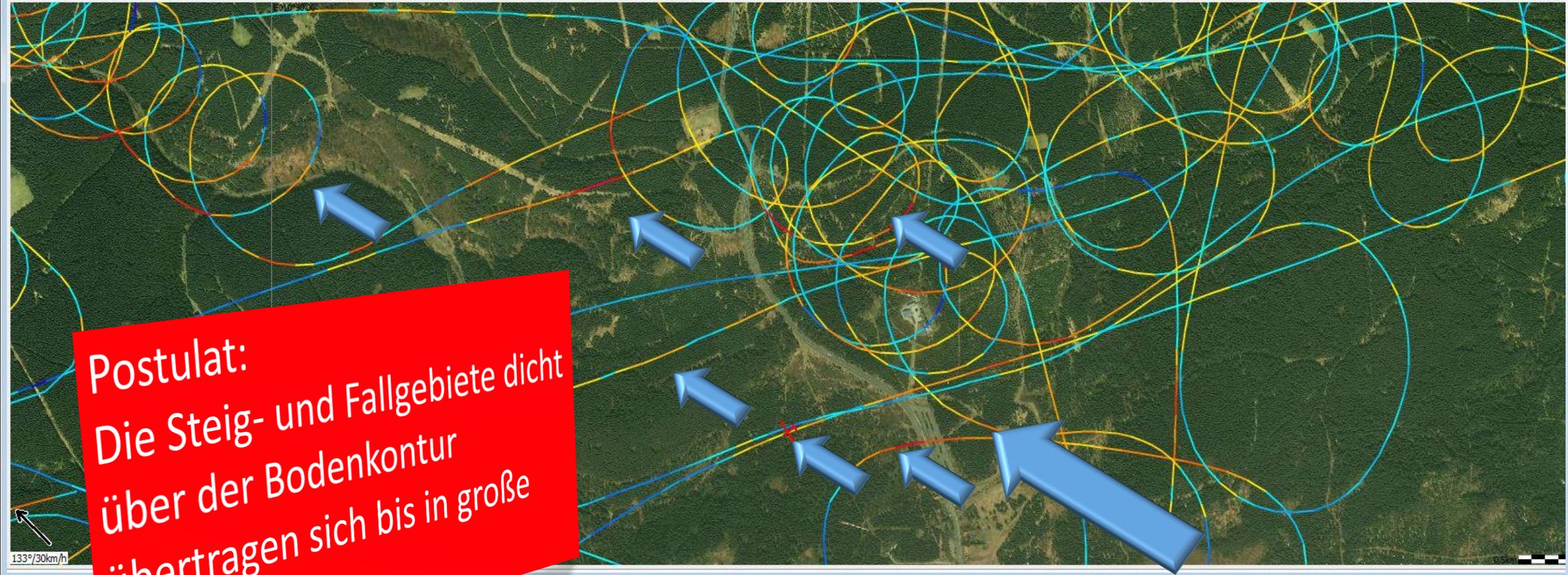
Überflug mit Wind und  
über Hangterrassen



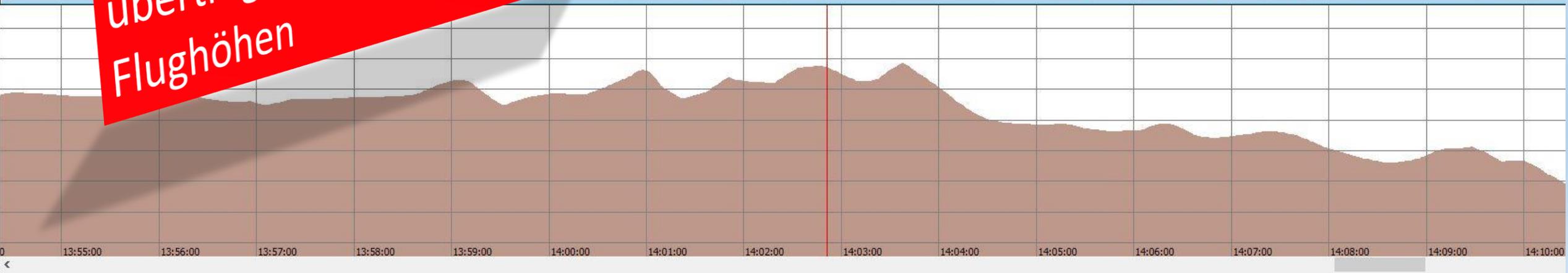
Bergland

Der Blick  
von oben





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

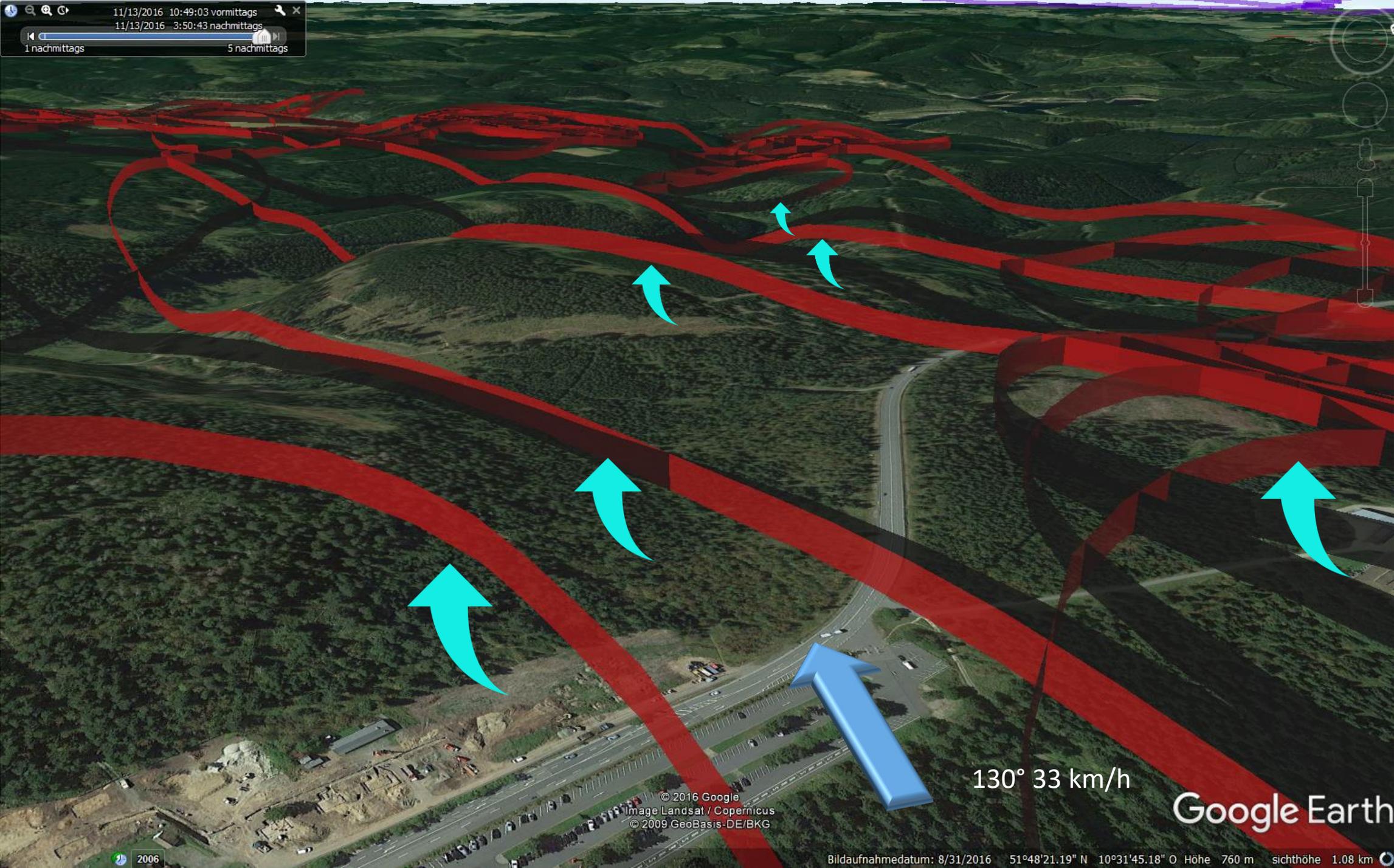




© 2016 Google  
© 2009 GeoBasis-DE/BKG  
Image Landsat / Copernicus

130° 33 km/h

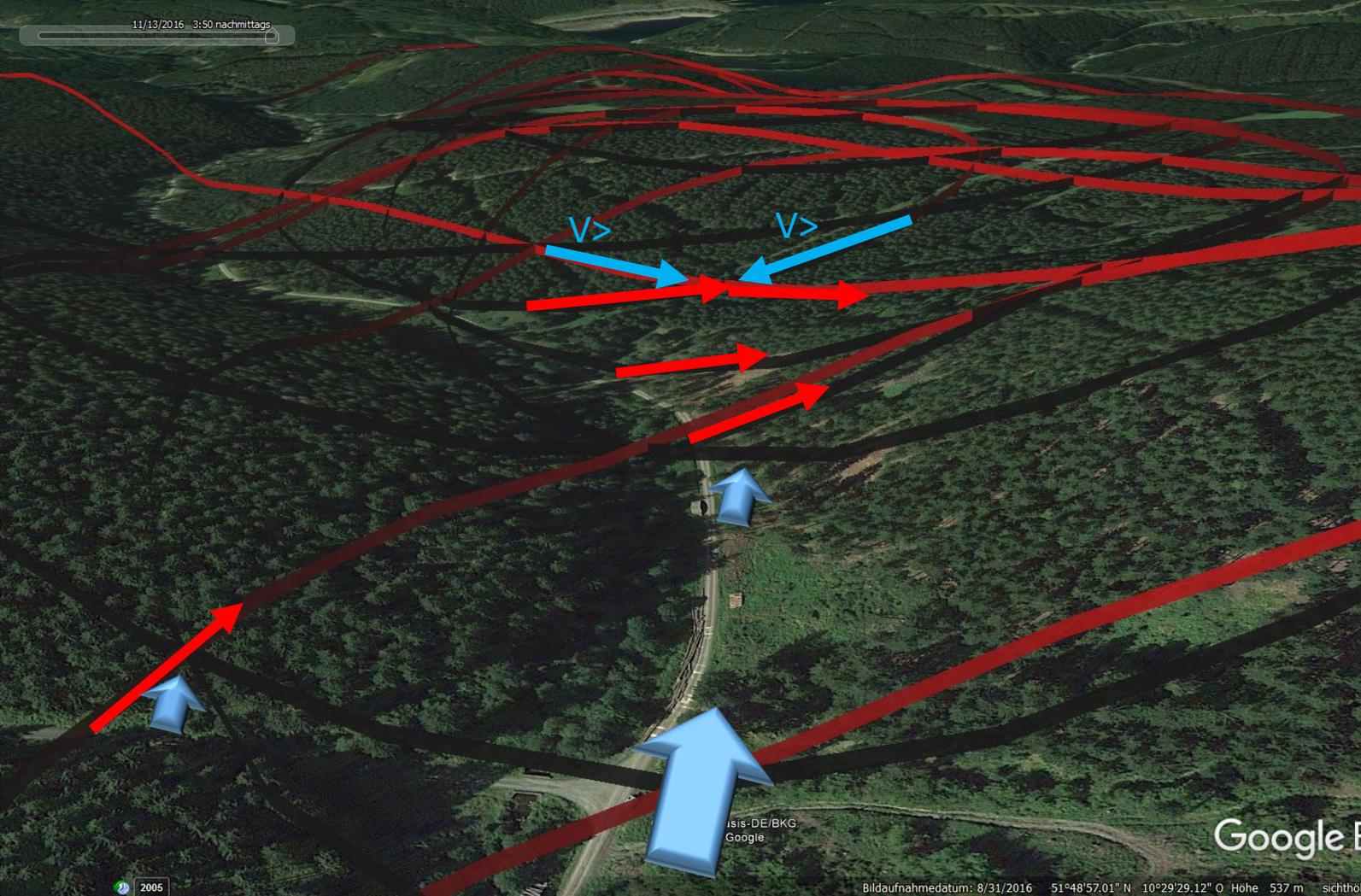
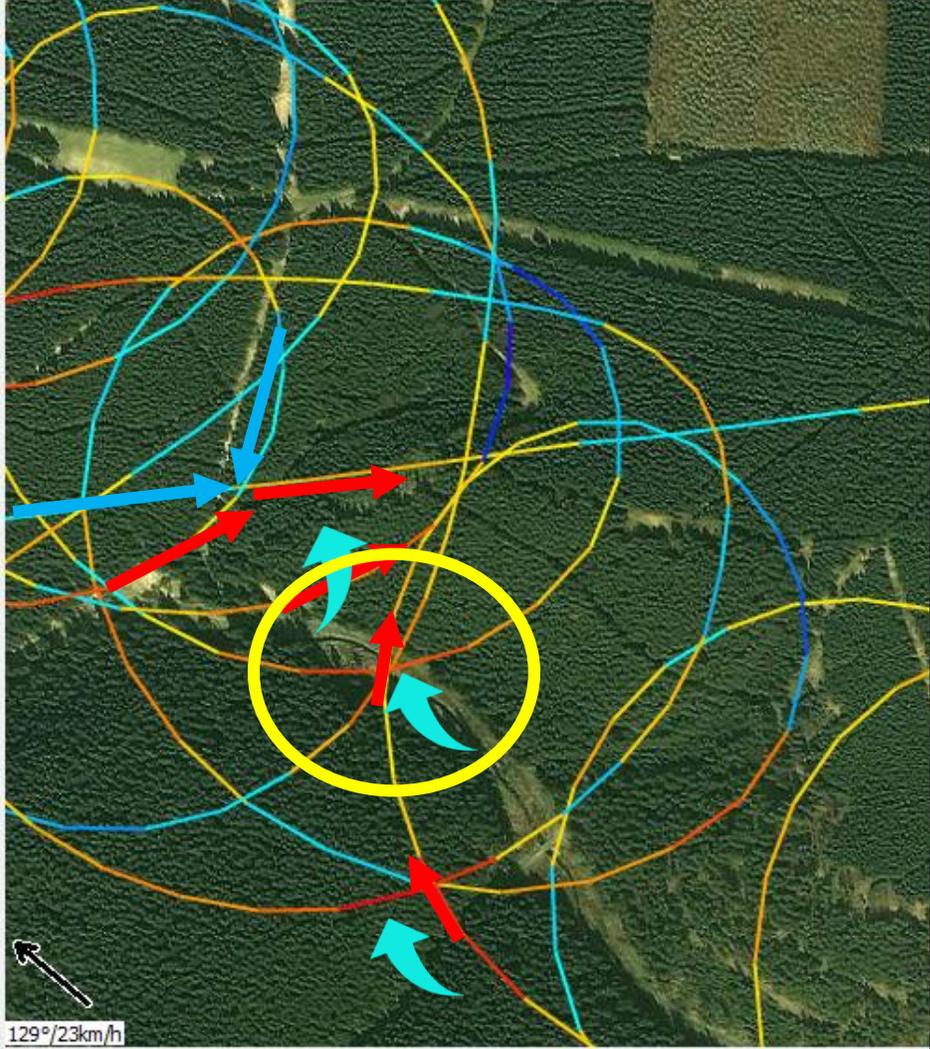
Google Earth



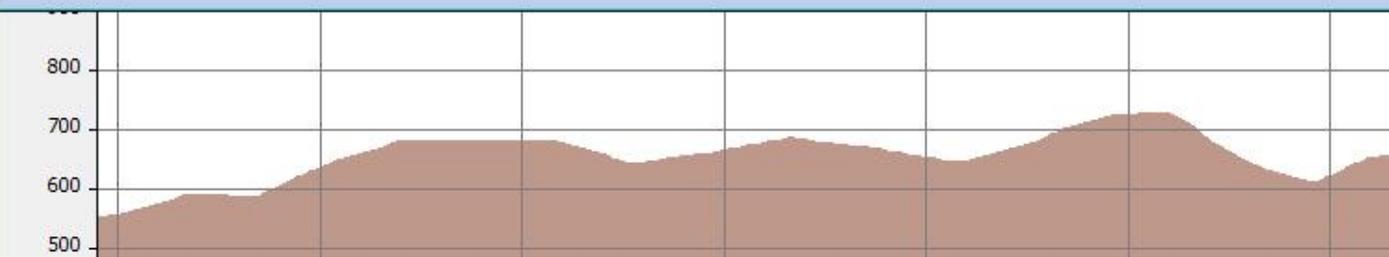
130° 33 km/h

Google Earth

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



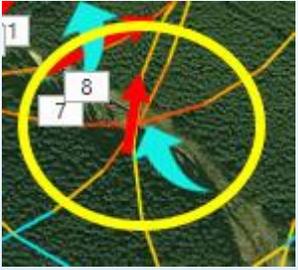
WKZ	Zeit	Höhe	Vario	VGd.	dt	dH	AVario	AGsp	Entf.	Gleitz.	Dist.Aufg.	Vt
D7	13:11:23	2545m	2,8m/s	124km/h	00:11:58	-40m	-0,1m/s	111km/h	22,1km	553		



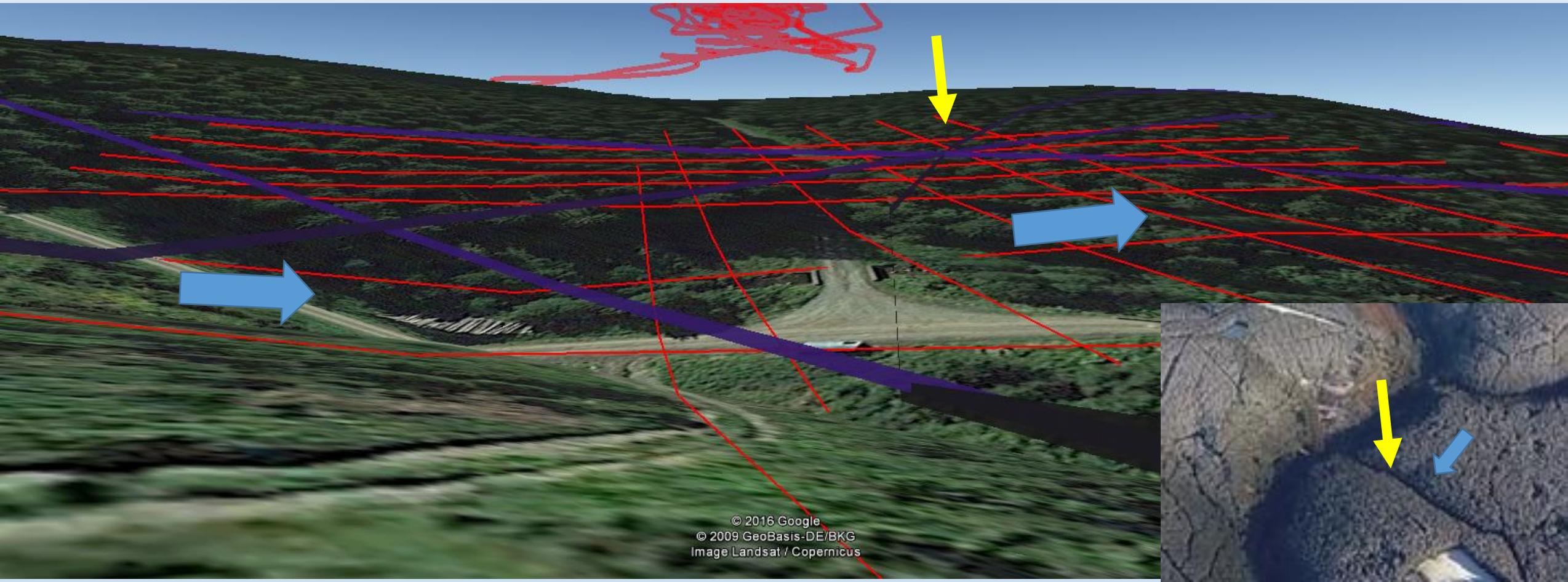
# Detailansicht



isis-DE/BKG  
Google

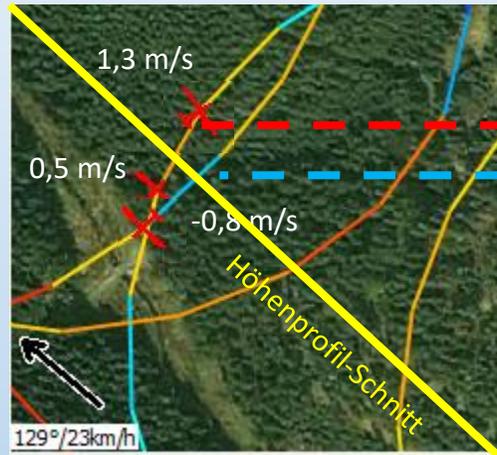


Warum ist am Kreuzungspunkt Steigen zu finden?



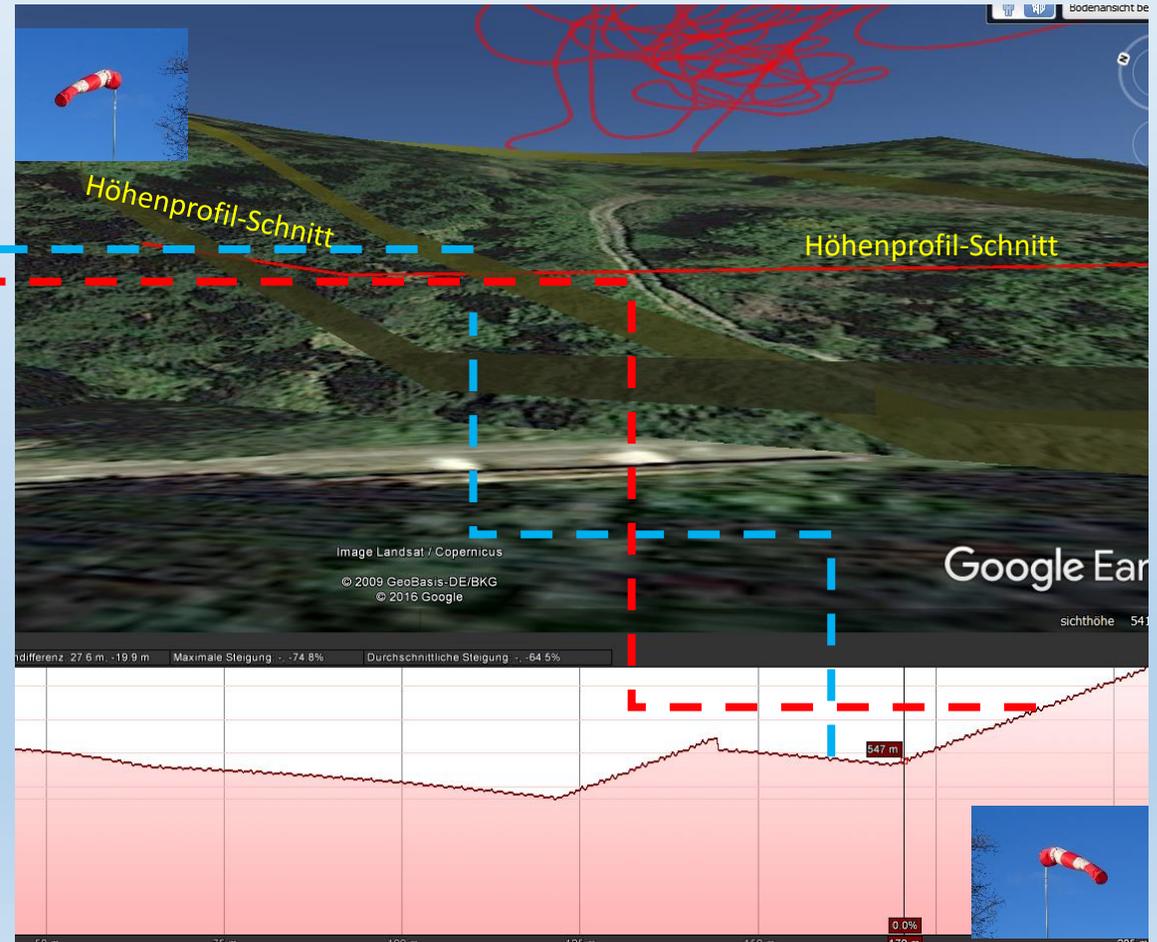
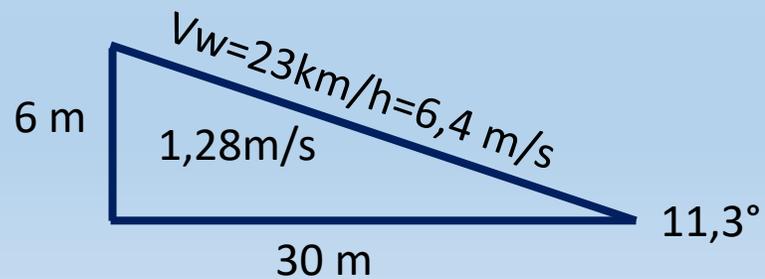
# Berechnung der Detailpunkte Welle Harz

Stimmt der rechnerische Hangaufwind mit der Realität überein ?

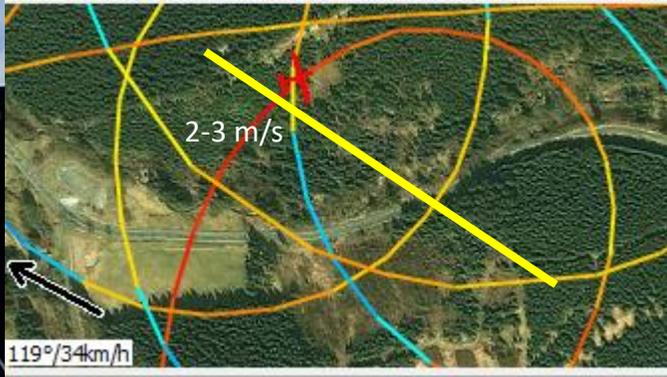


Spur zeigt 0,5-1,3m/s

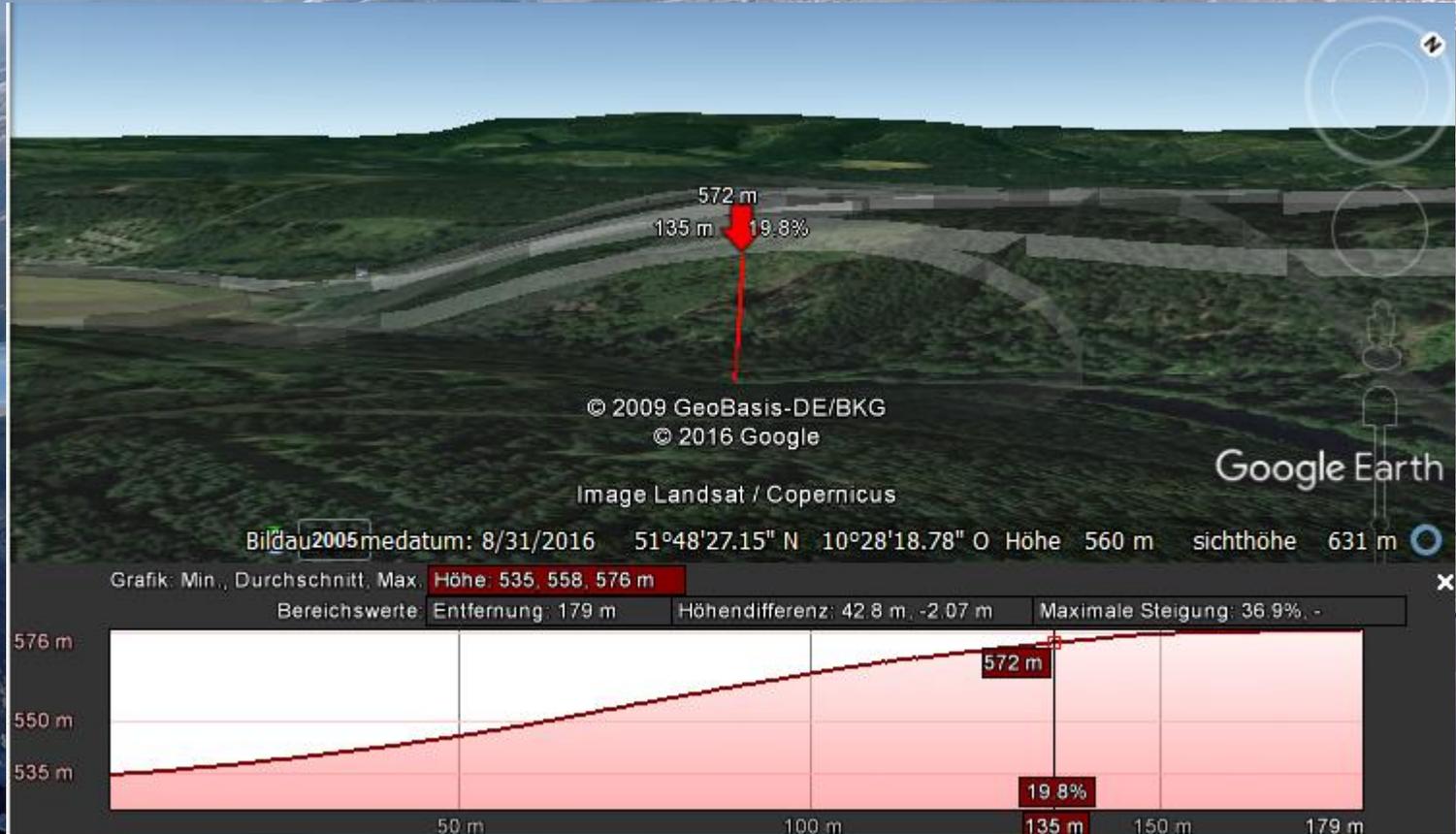
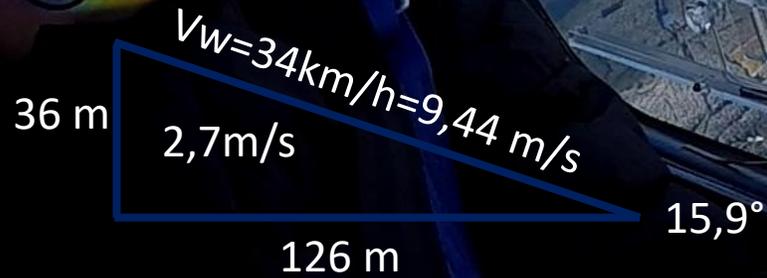
Hangaufwind berechnet 1,3m/s



# Berechnung Detailpunkte Harzwelle

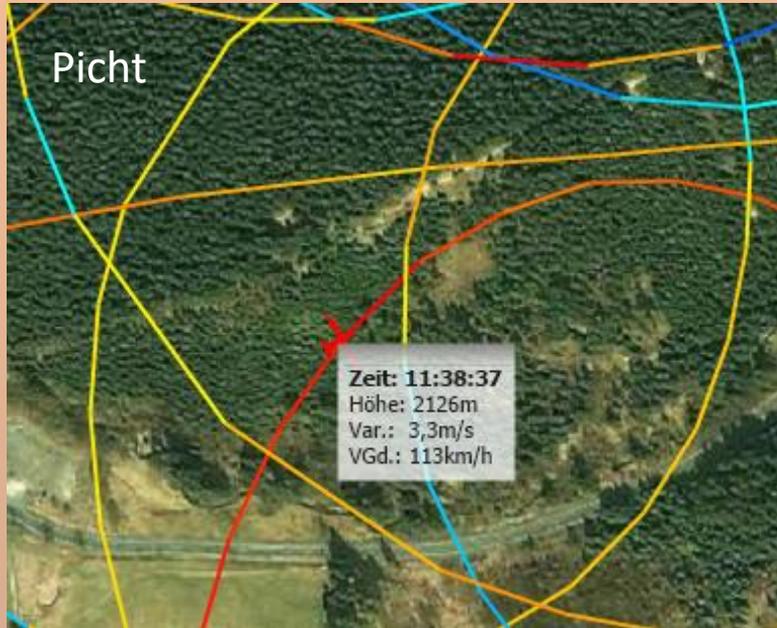


Vario zeigt 2-3m/s  
Hangaufwind berechnet 2,7m/s

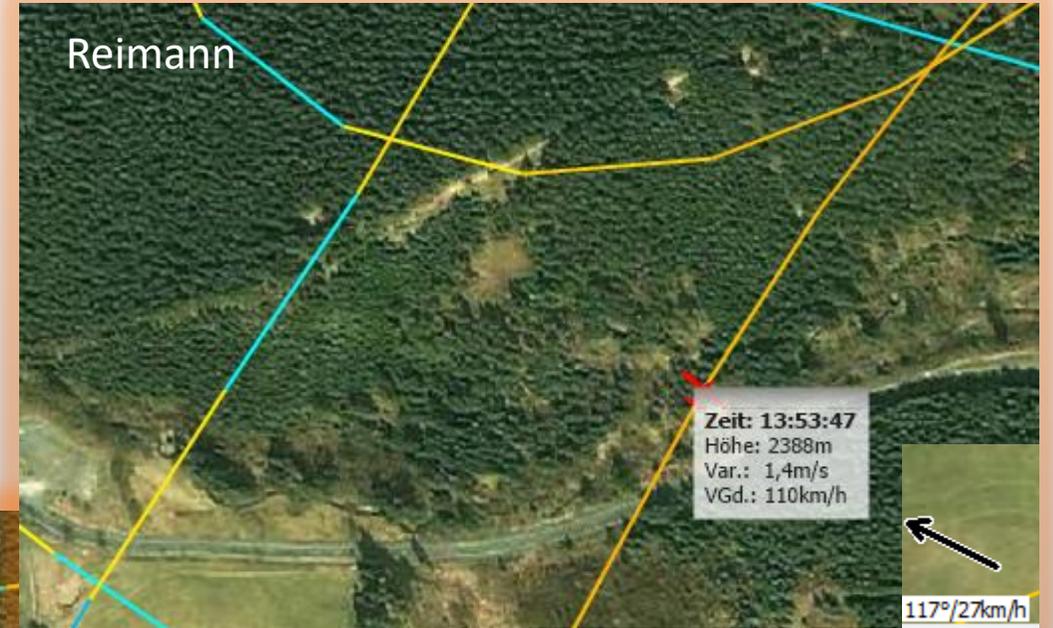


# Nachweis durch drei überlagerte IGCs

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

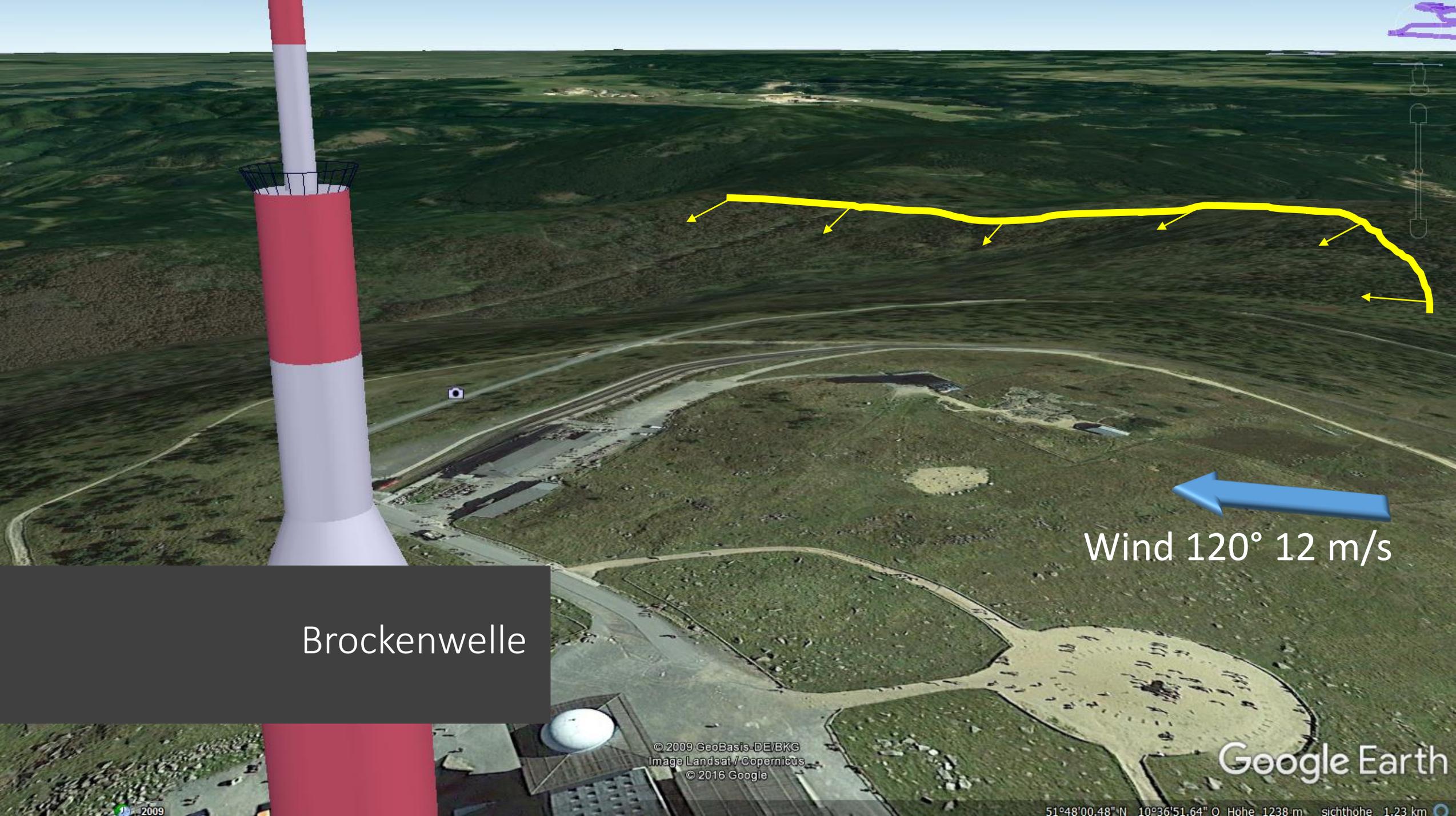


Eine Konturschwankung bei der Überströmung eines Hindernisses erzeugt Steig- und Sinkgebiete

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

2009





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

# Thermik und Wellen



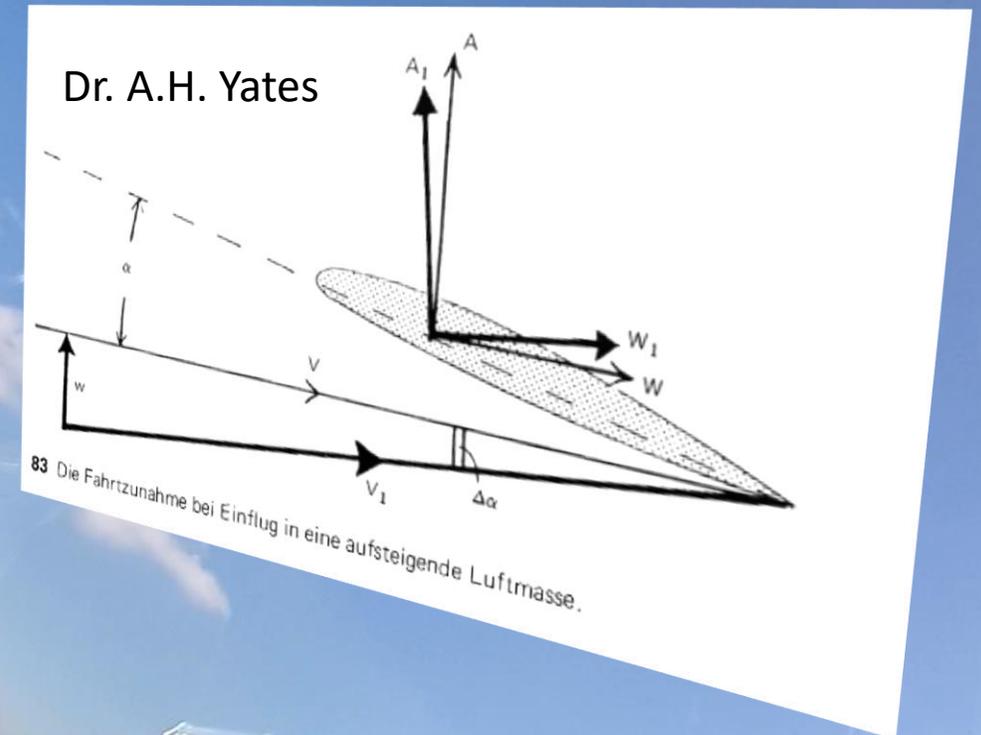
# Ist im Kreisflug die Aufwindart erkennbar?

Geschwindigkeit  
= konstant

Vario = variabel



# Ist im Kreisflug die Aufwindart erkennbar?



Geschwindigkeit  
= variabel

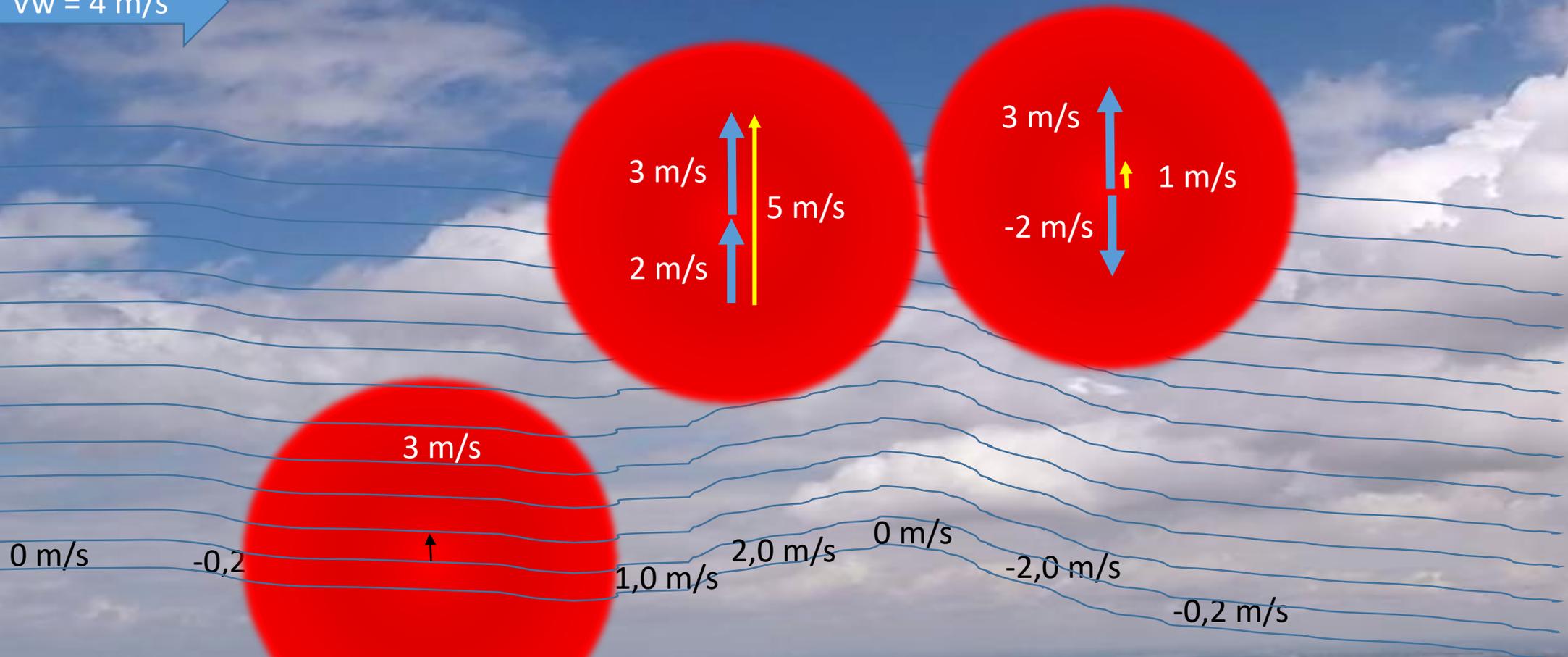
Vario = variabel

Einflug in die Thermik

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

# Interferenz zwischen Welle und Thermik

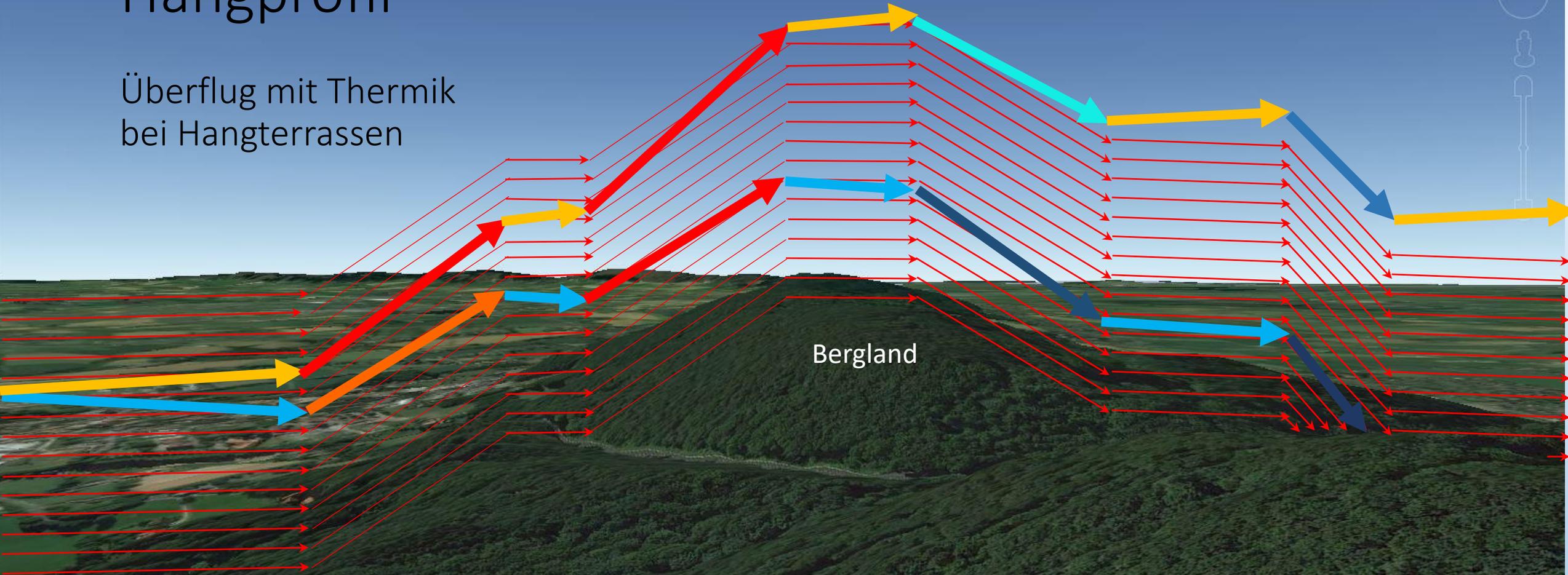
$V_w = 4 \text{ m/s}$



Bergland

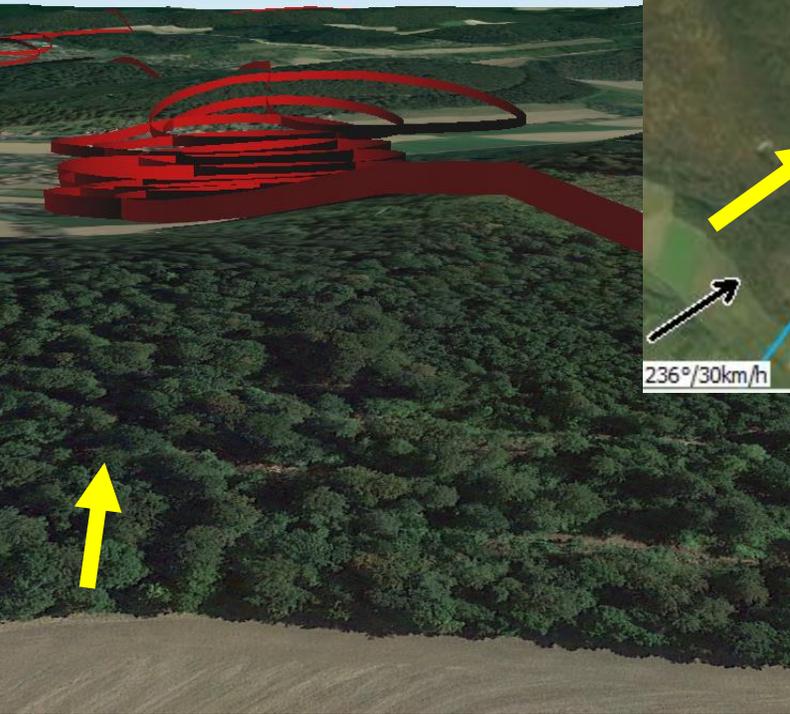
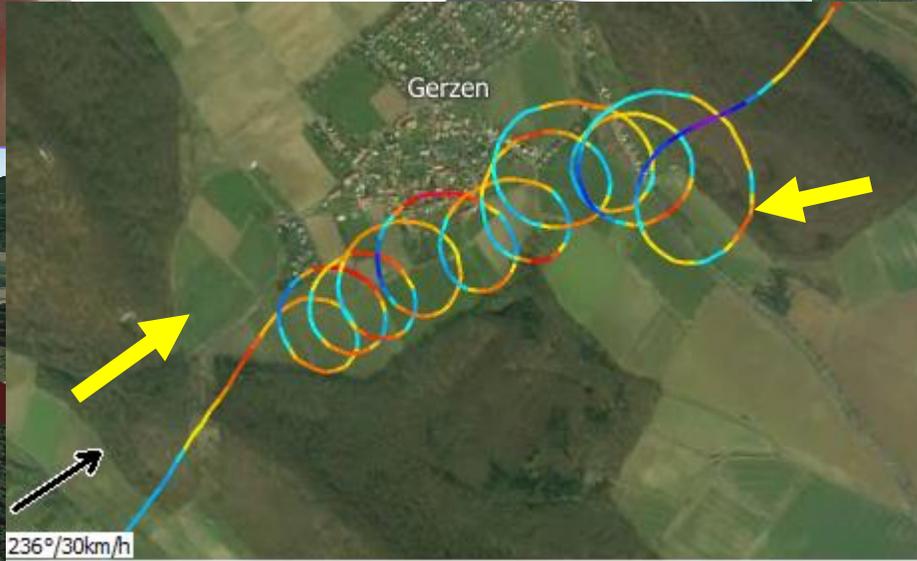
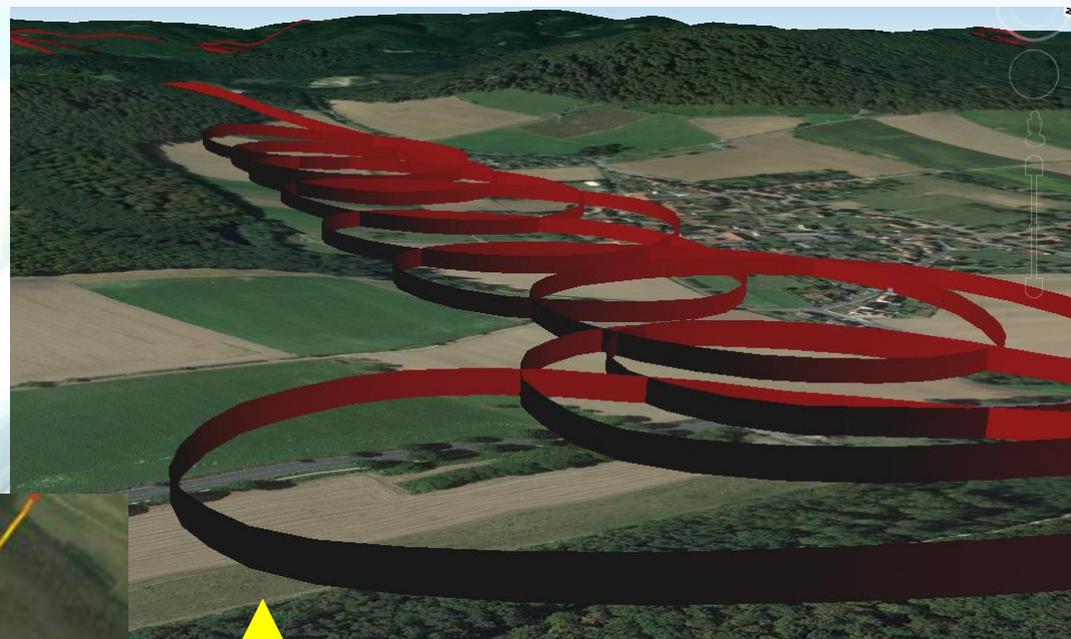
# Hangprofil

Überflug mit Thermik bei Hangterrassen

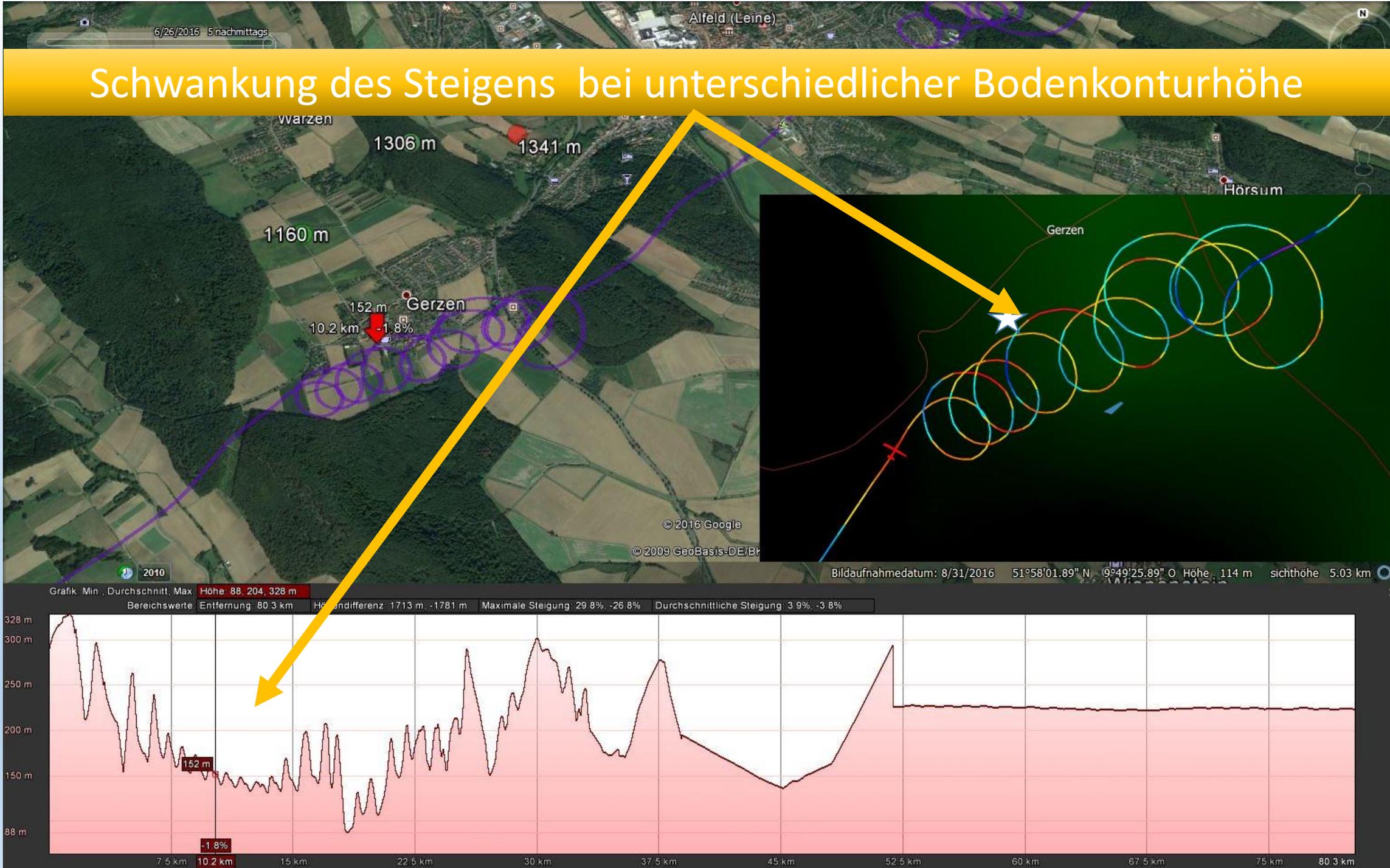


Bergland

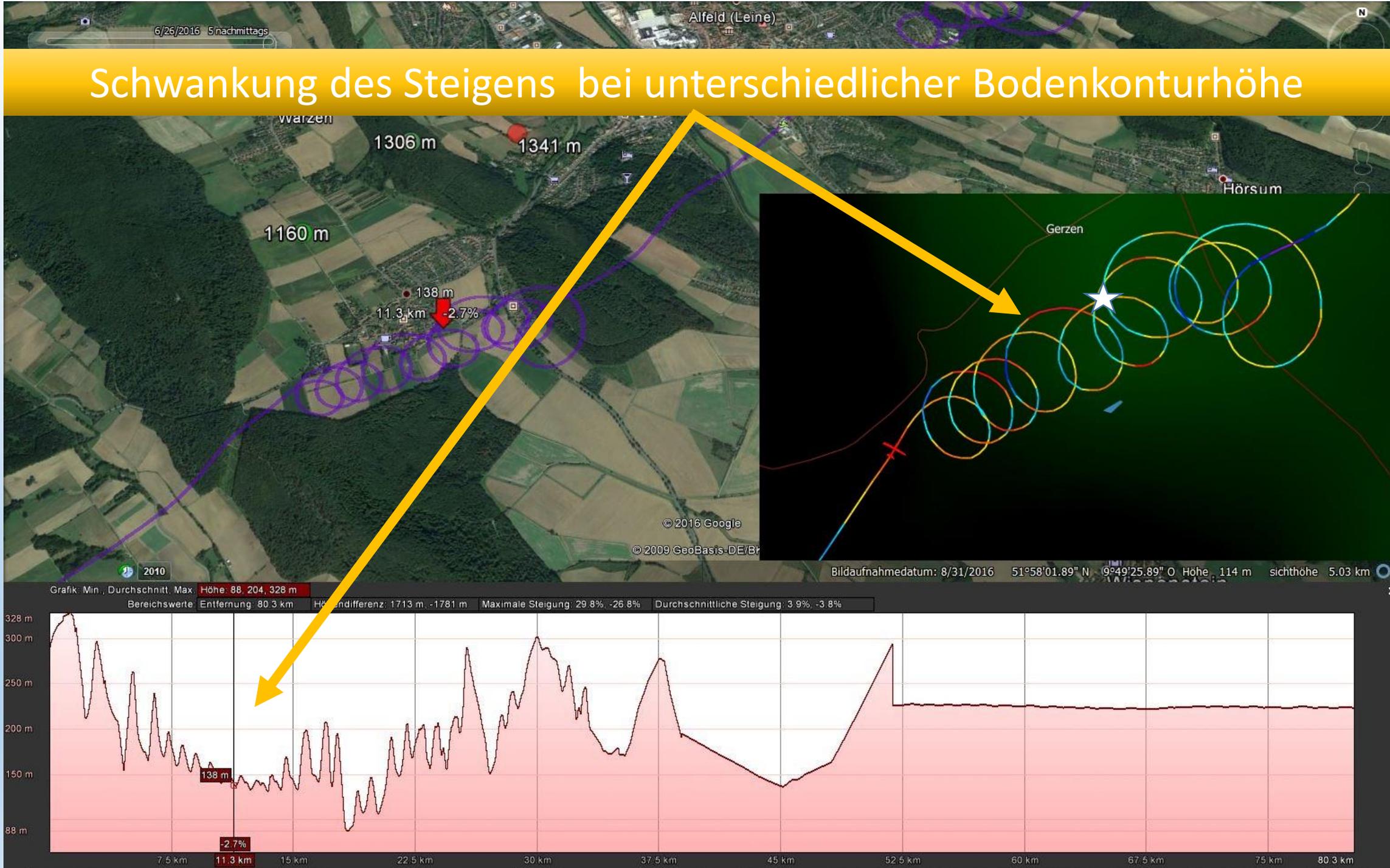
# Zurück zur Praxis-Erfahrung



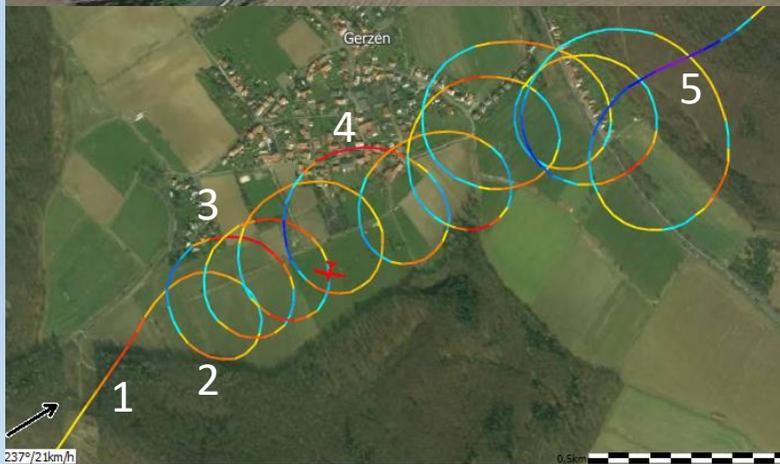
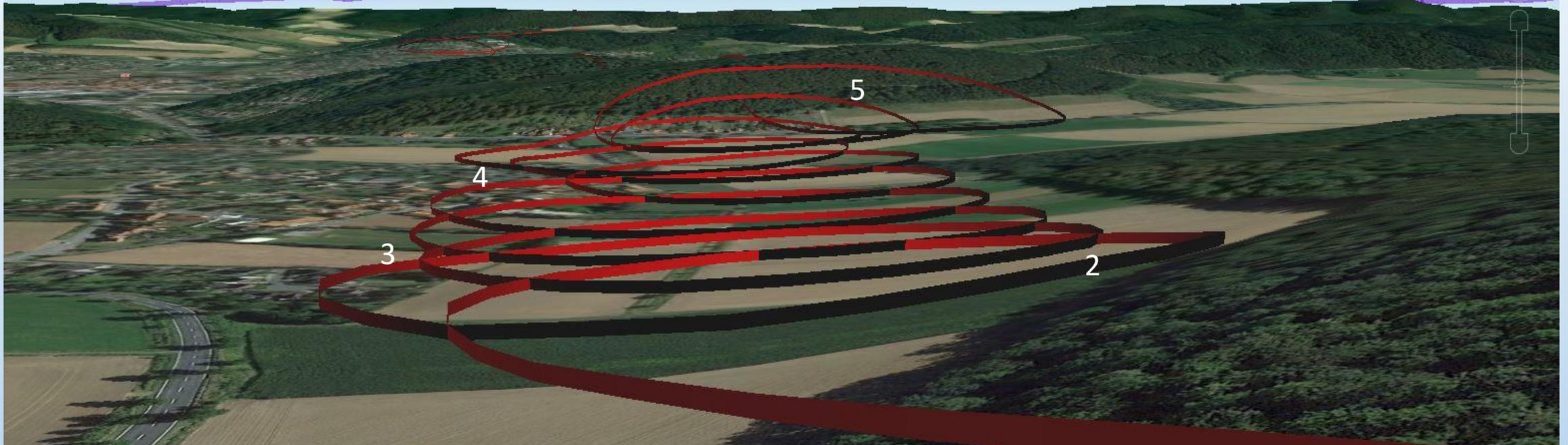
# Schwankung des Steigens bei unterschiedlicher Bodenkonturhöhe



# Schwankung des Steigens bei unterschiedlicher Bodenkonturhöhe



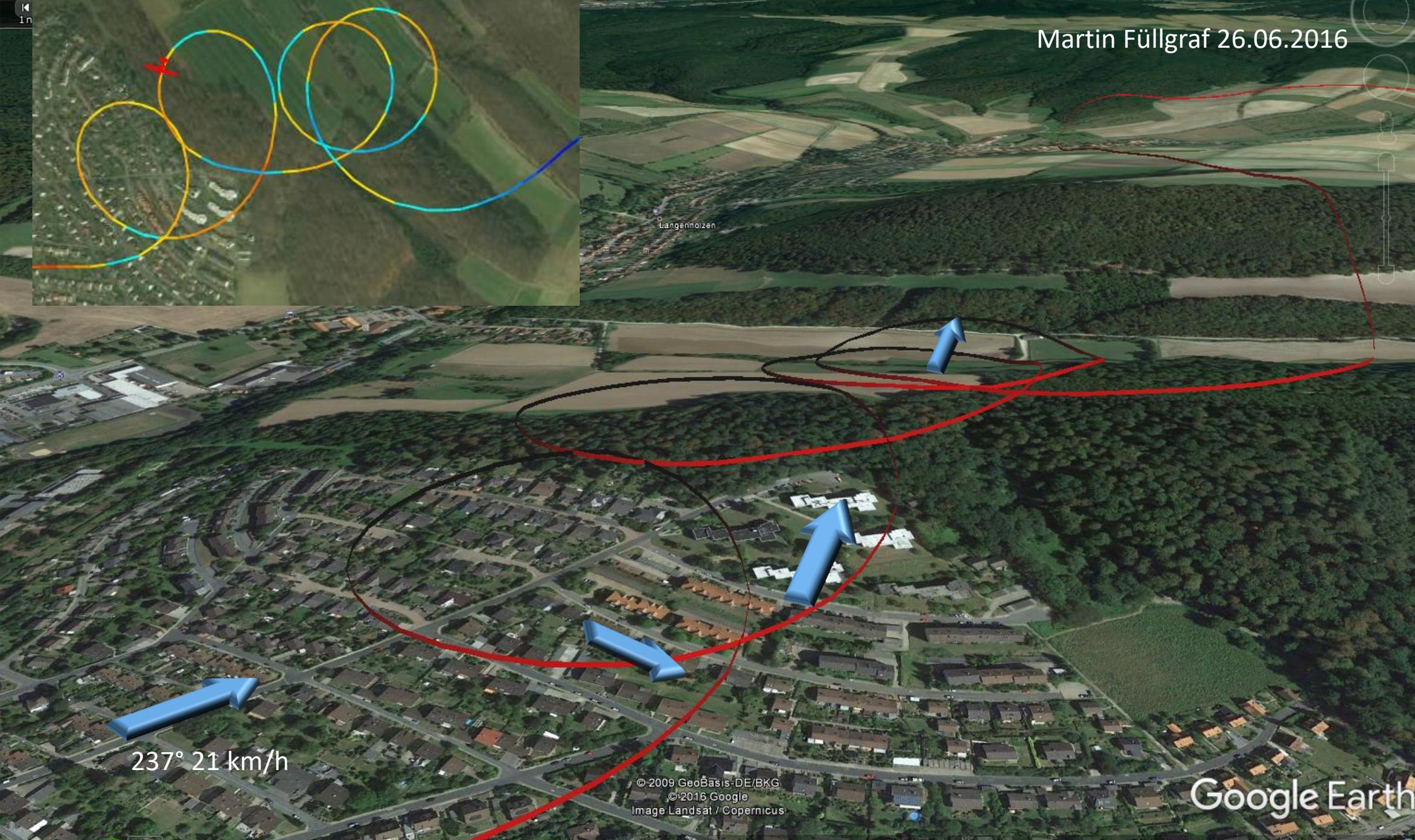
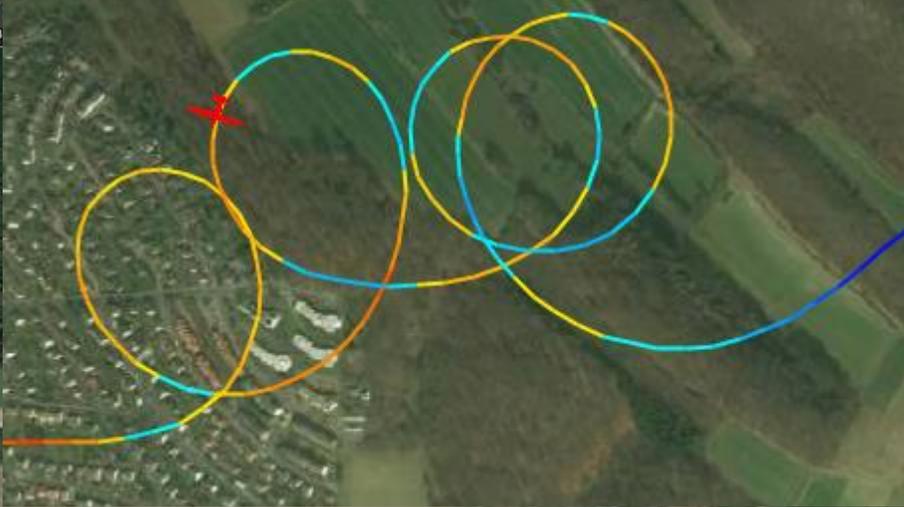
# Thermik & Welle



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

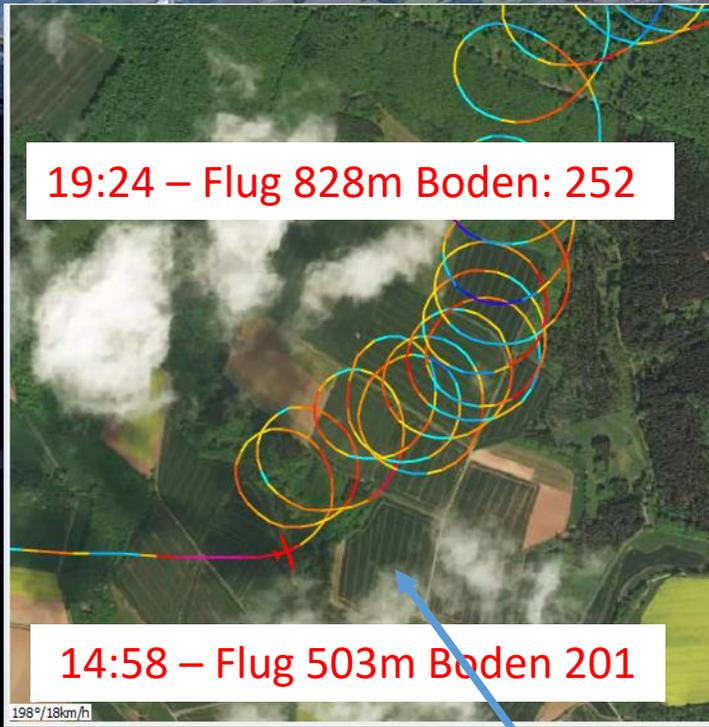
© 2009 GeoBasis-DE/BKG  
© 2016 Google  
Image Landsat / Copernicus

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

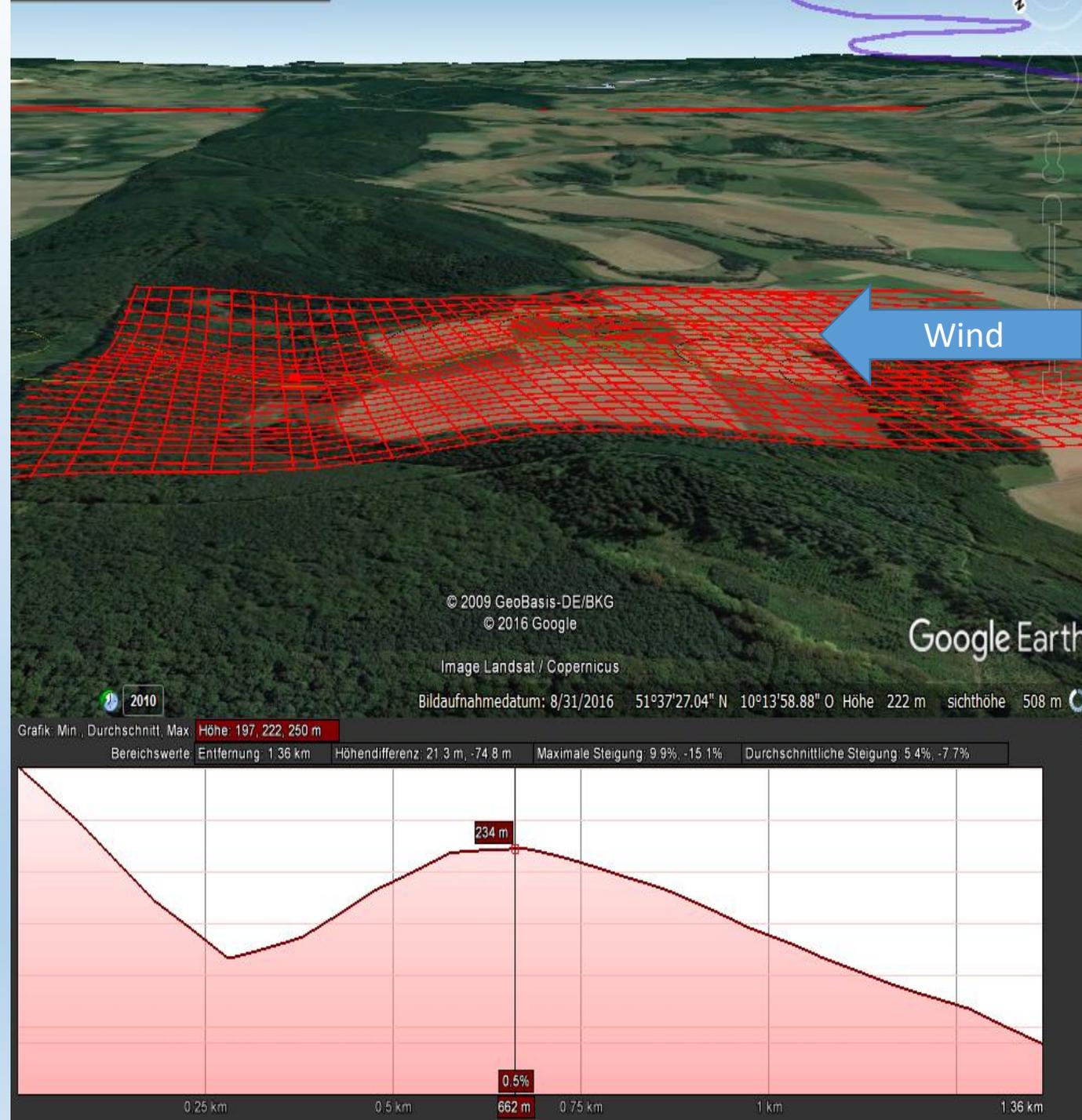
Integrierte 1,22m/s

Flugzeug -0,7m/s

Hang 0,3m/s

266 sek

# 3D Hangkontur



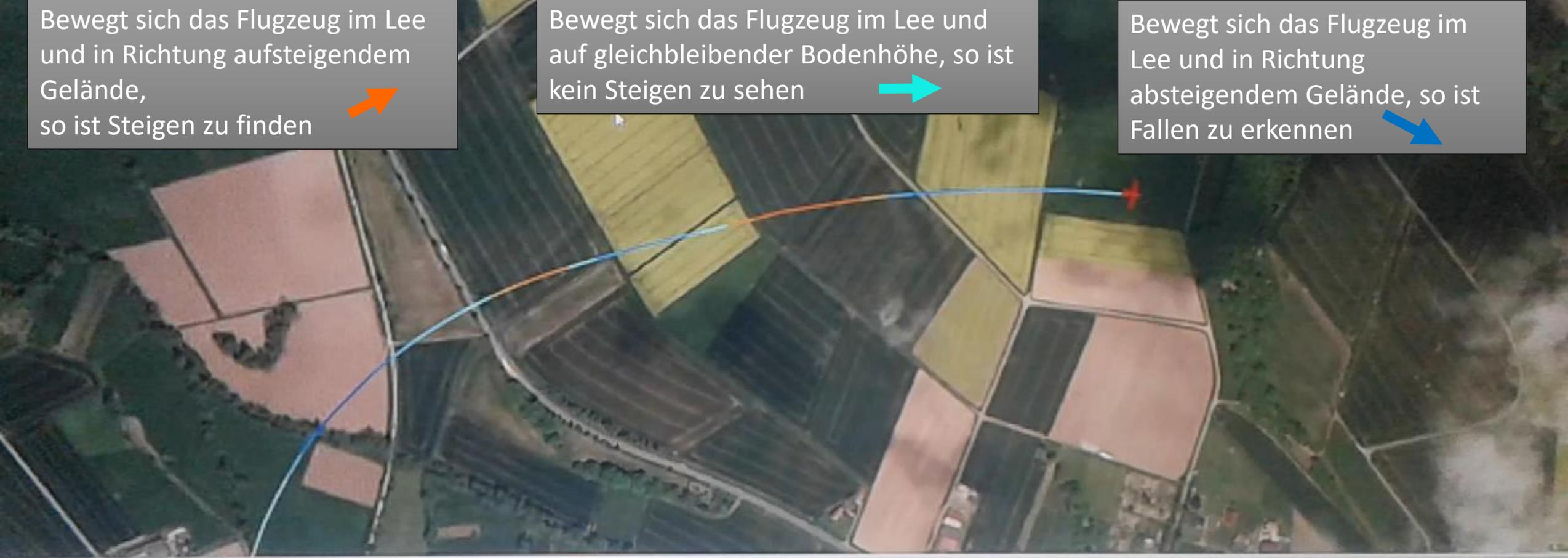
Bewegt sich das Flugzeug im Lee und in Richtung aufsteigendem Gelände, so ist Steigen zu finden



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



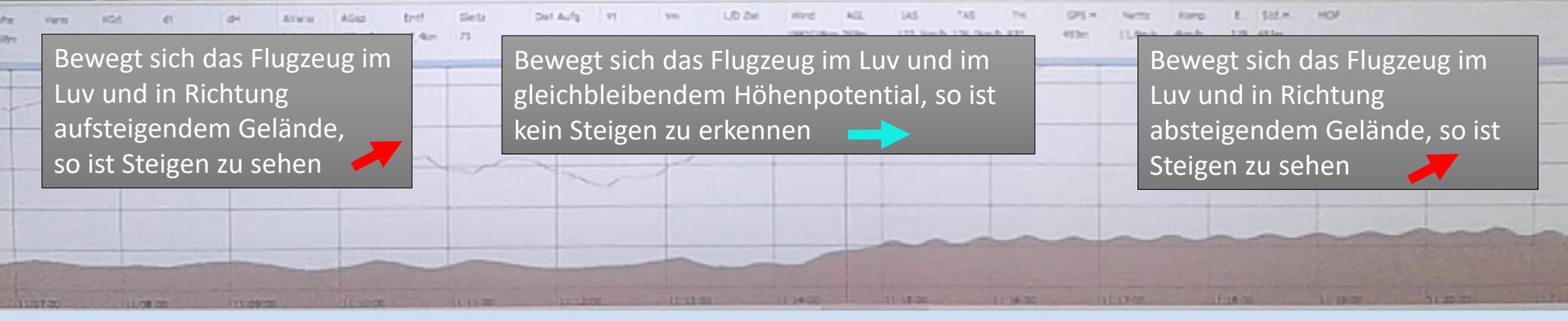
Bewegt sich das Flugzeug im Luv und in Richtung aufsteigendem Gelände, so ist Steigen zu sehen



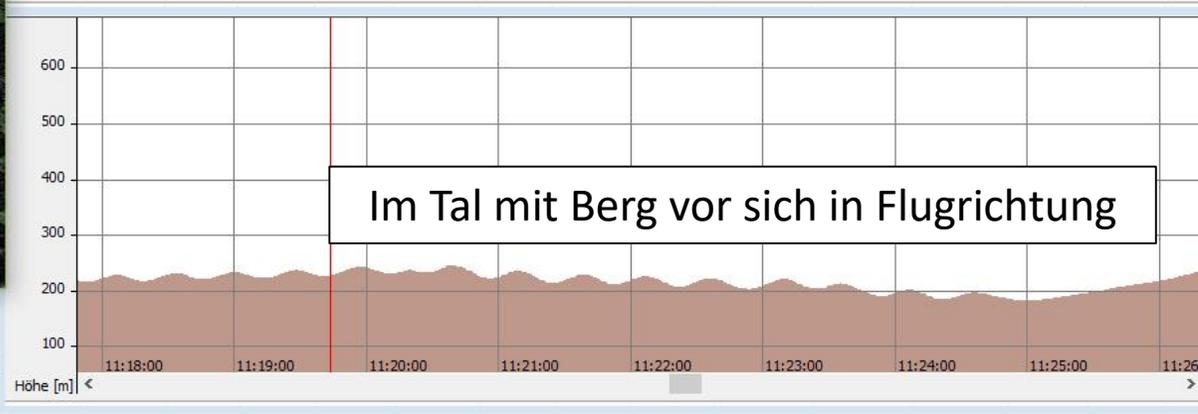
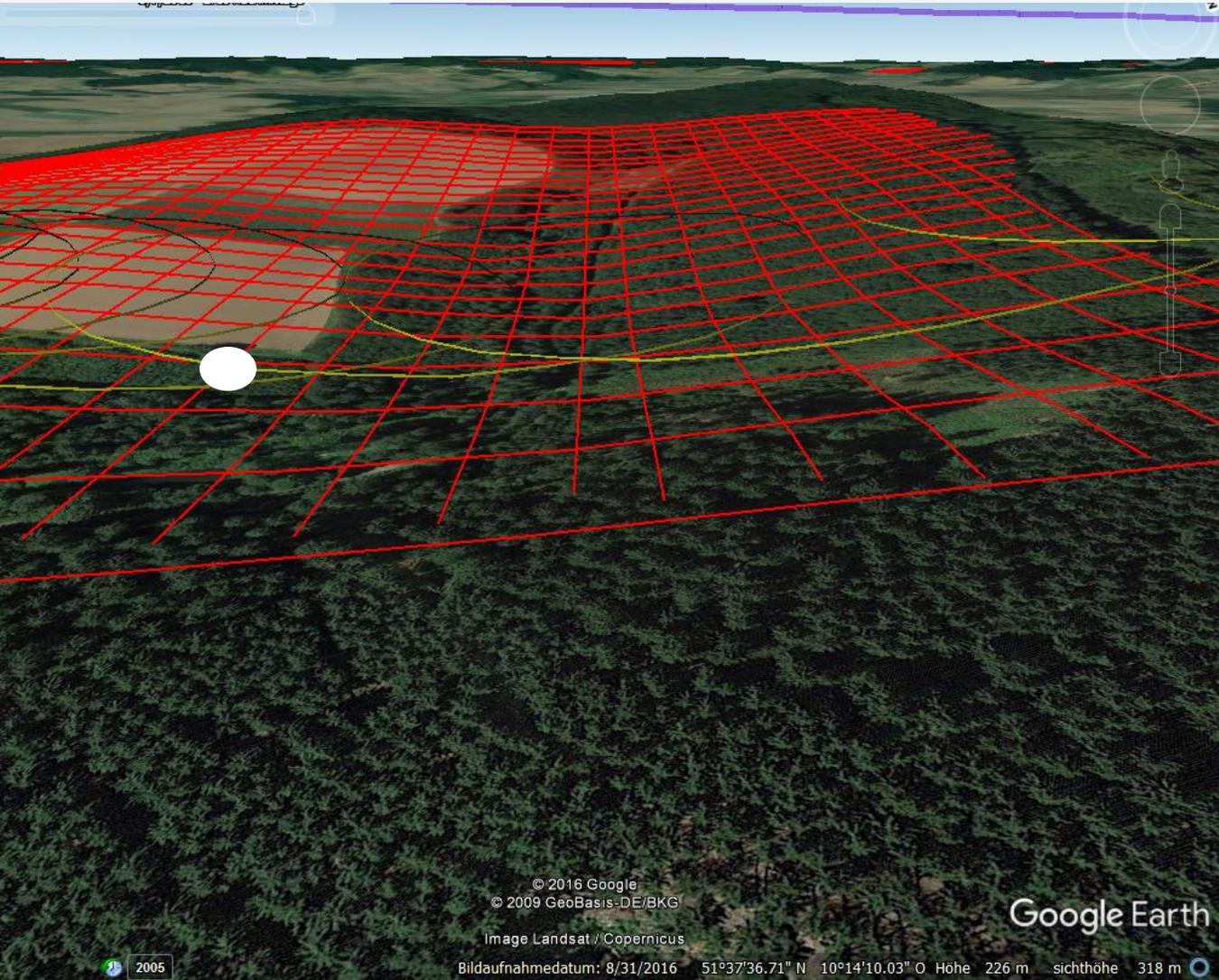
Bewegt sich das Flugzeug im Luv und im gleichbleibendem Höhenpotential, so ist kein Steigen zu erkennen



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



# Potentialtheorie



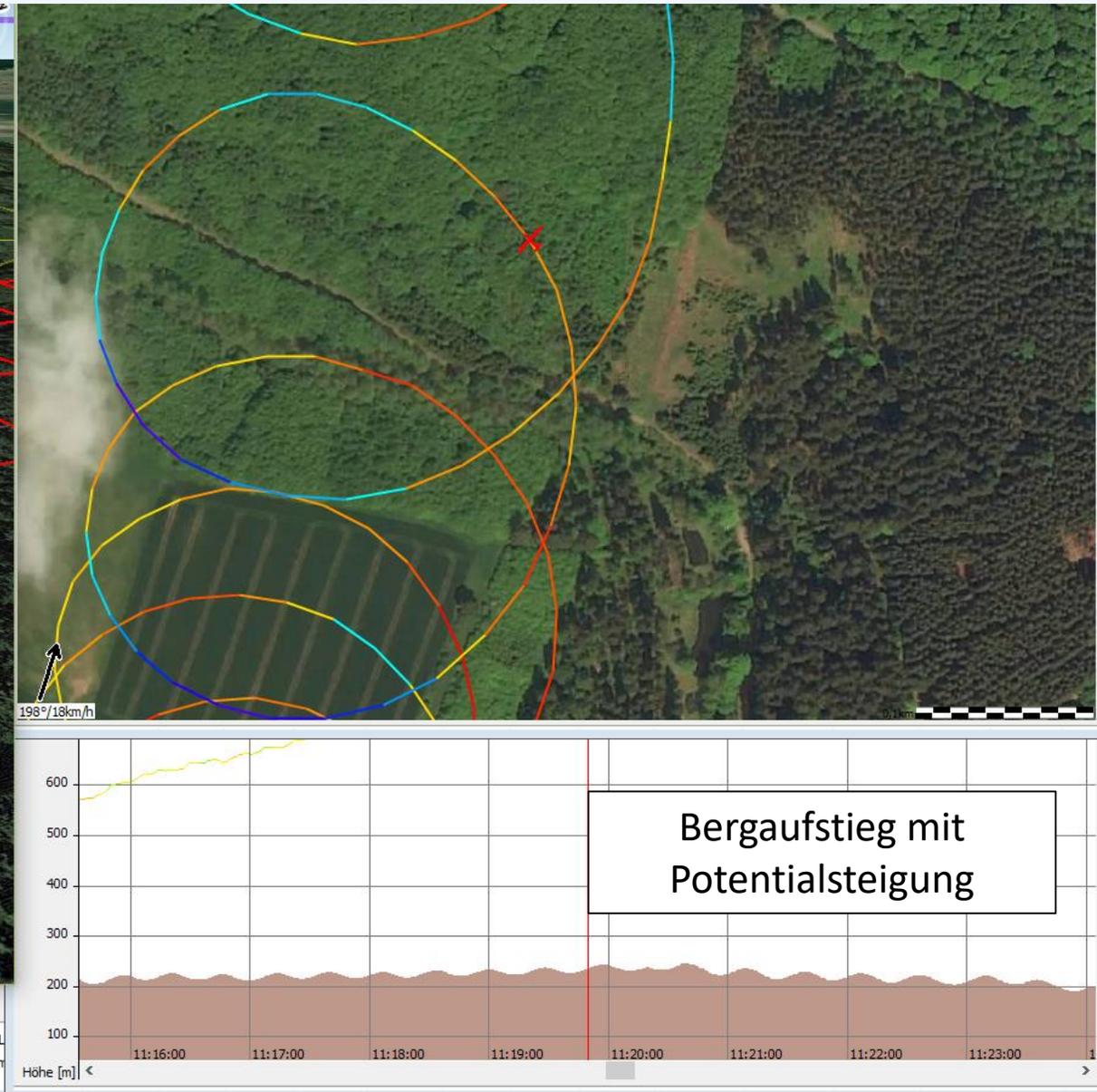
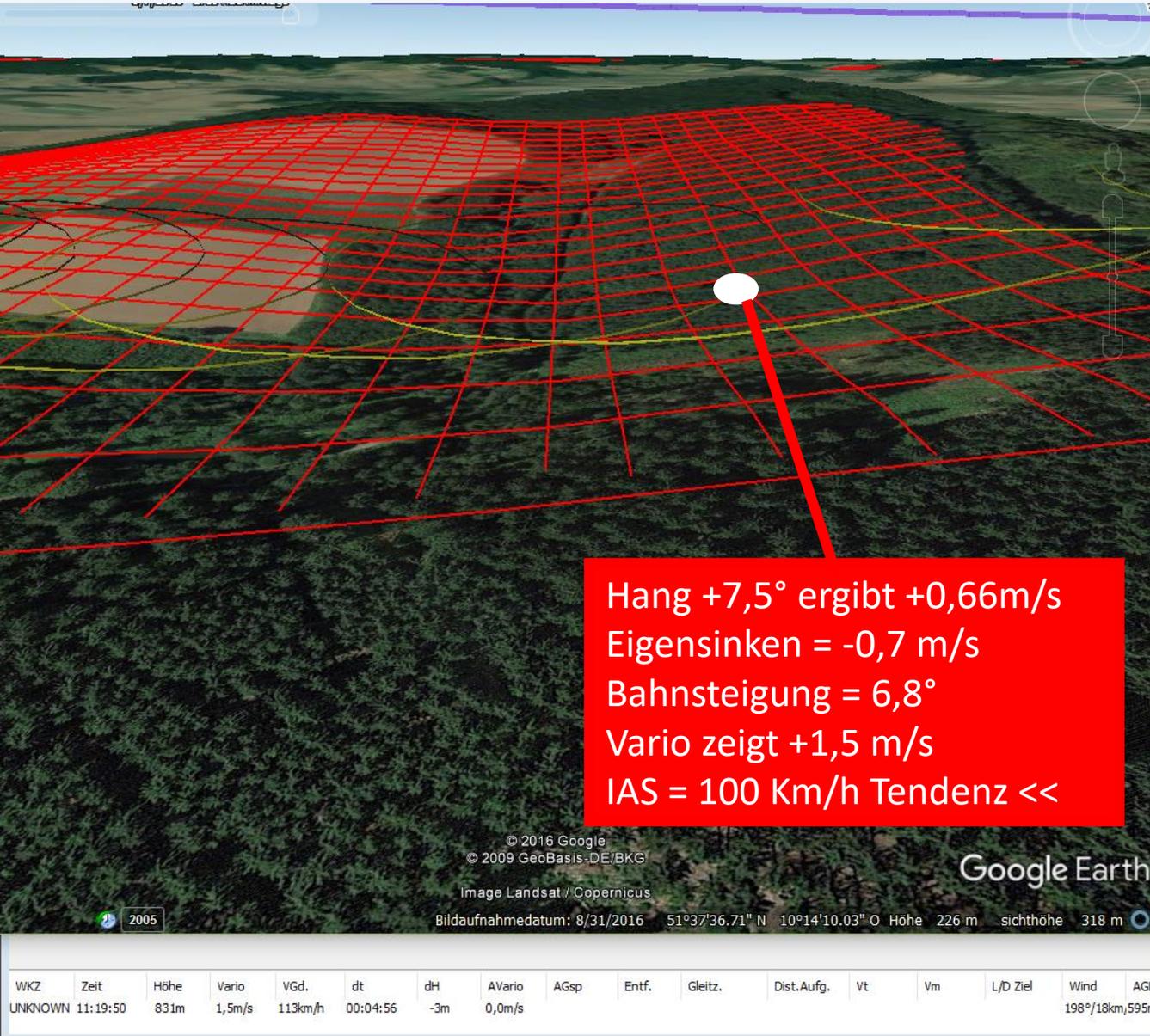
WKZ	Zeit	Höhe	Vario	VGd.	dt	dH	AVario	AGsp	Entf.	Gleitz.	Dist.Aufg.	Vt	Vm	L/D Ziel	Wind	AGL
UNKNOWN	11:19:44	820m	2,0m/s	130km/h	00:04:56	-3m	0,0m/s								198°/18km,592m	

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

Google Earth

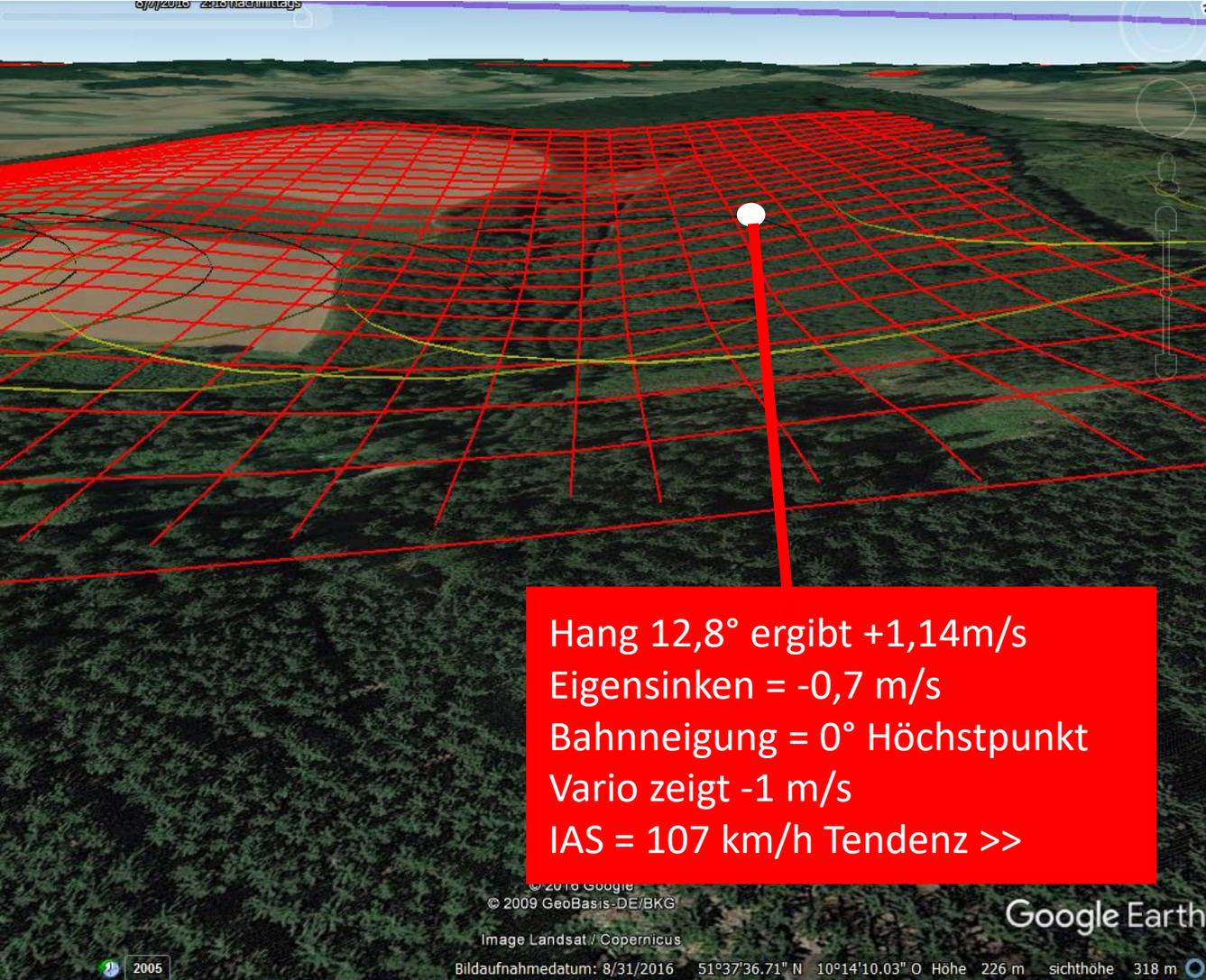
Bildaufnahmedatum: 8/31/2016 51°37'36.71" N 10°14'10.03" O Höhe 226 m sichthöhe 318 m

# Potentialtheorie

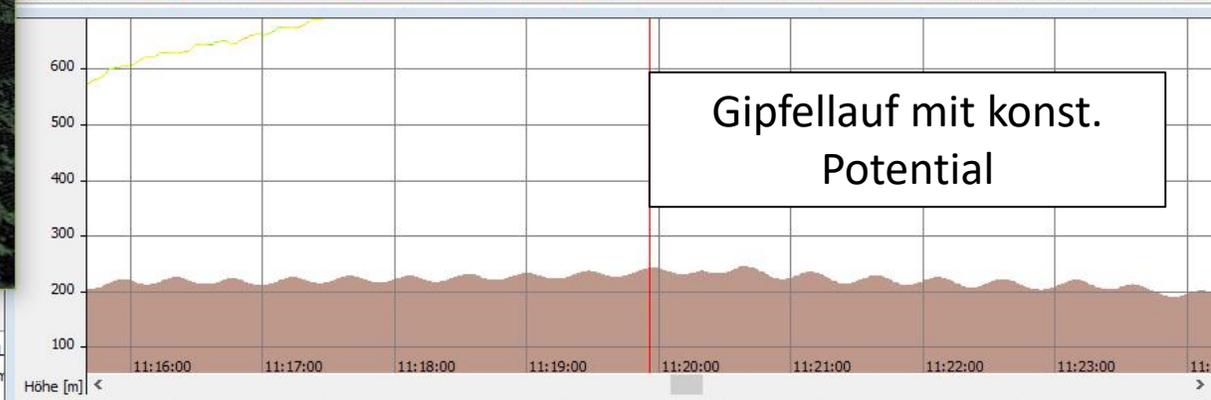
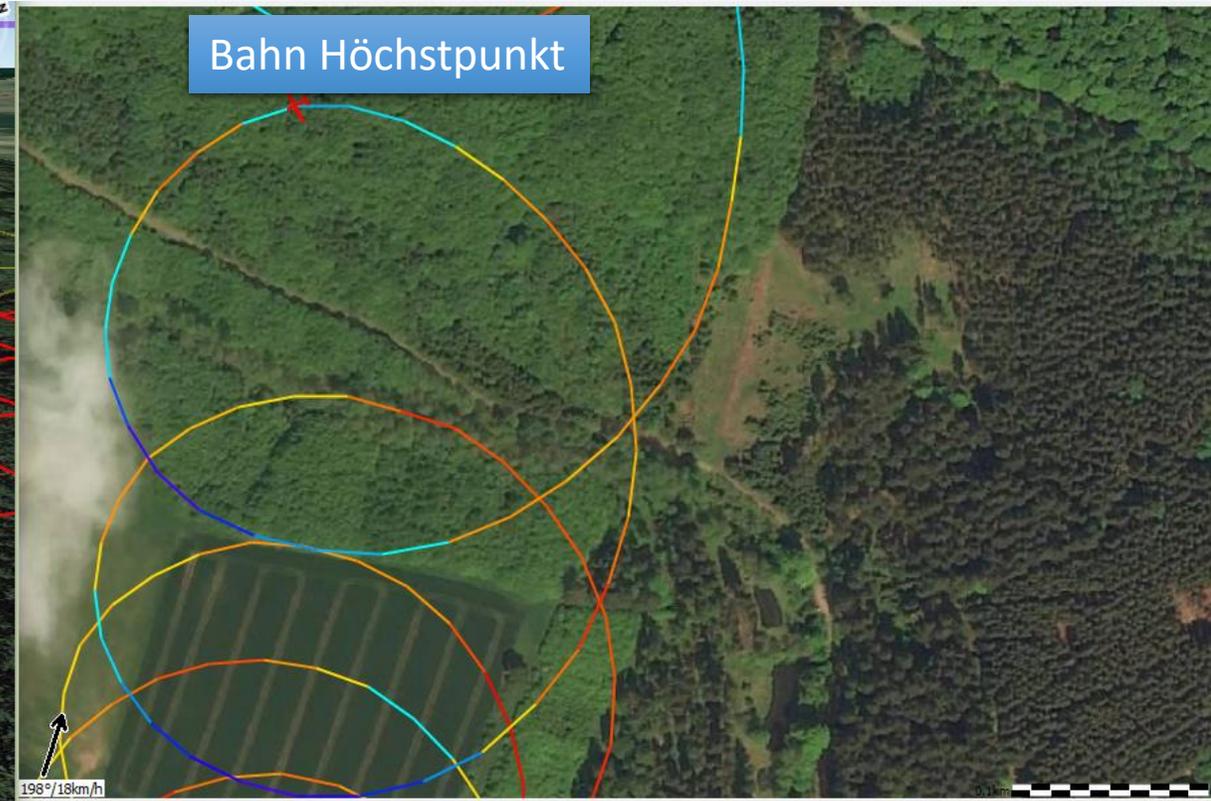


Bewegt sich das Flugzeug im Luv und in Richtung aufsteigendem Gelände, so ist die Potentialänderung groß. Das Steigen erfährt den Maximalwert, bzw. die Thermik kann ungehindert aufwärts strömen

# Potentialtheorie

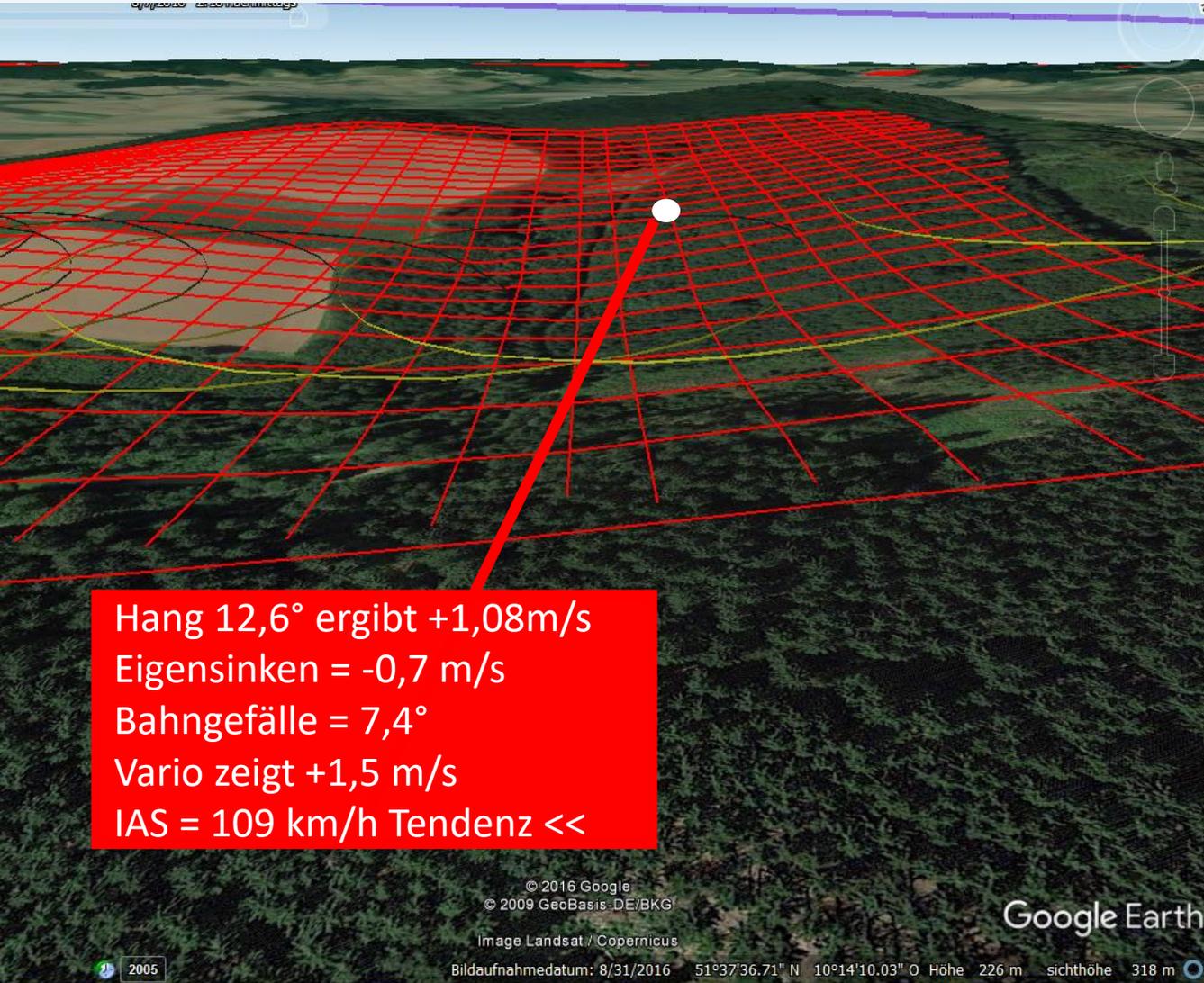


Hang  $12,8^\circ$  ergibt  $+1,14\text{m/s}$   
Eigensinken =  $-0,7\text{ m/s}$   
Bahnneigung =  $0^\circ$  Höchstpunkt  
Vario zeigt  $-1\text{ m/s}$   
IAS =  $107\text{ km/h}$  Tendenz  $\gg$



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° ergibt +1,08m/s  
Eigensinken = -0,7 m/s  
Bahngefälle = 7,4°  
Vario zeigt +1,5 m/s  
IAS = 109 km/h Tendenz <<

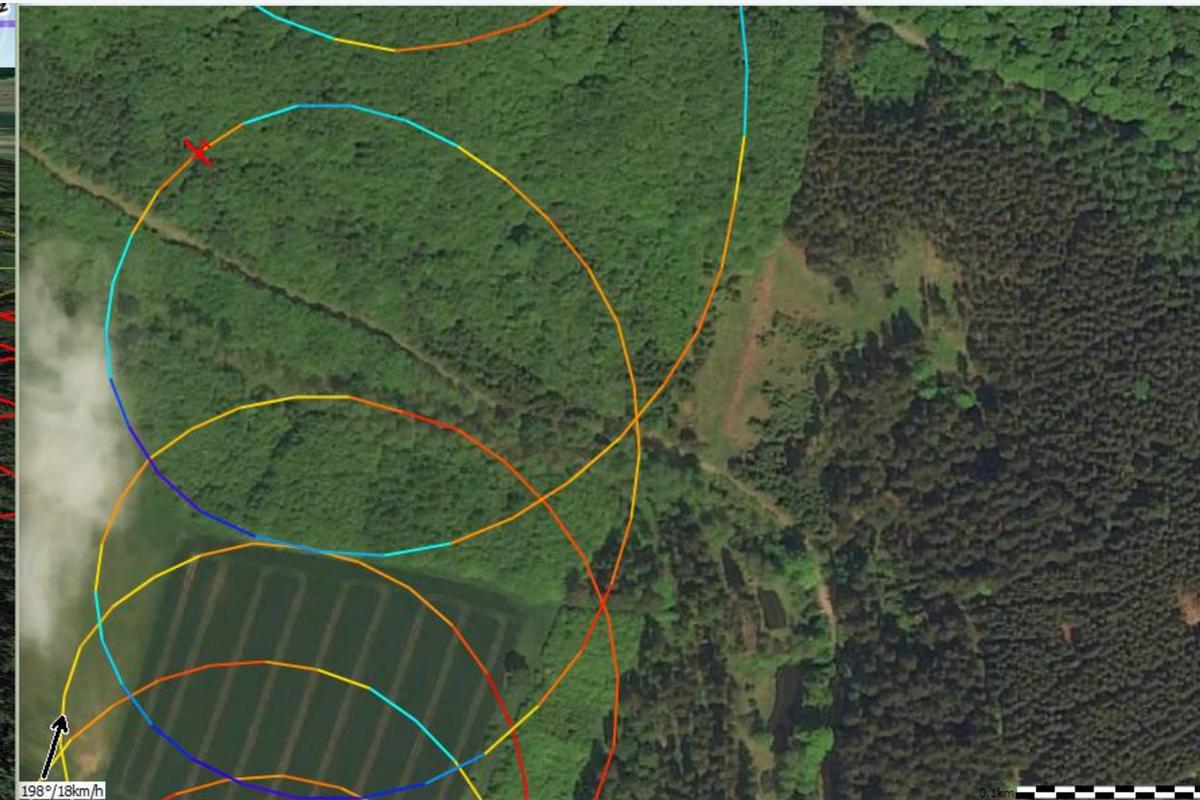
© 2016 Google  
© 2009 GeoBasis-DE/BKG

Google Earth

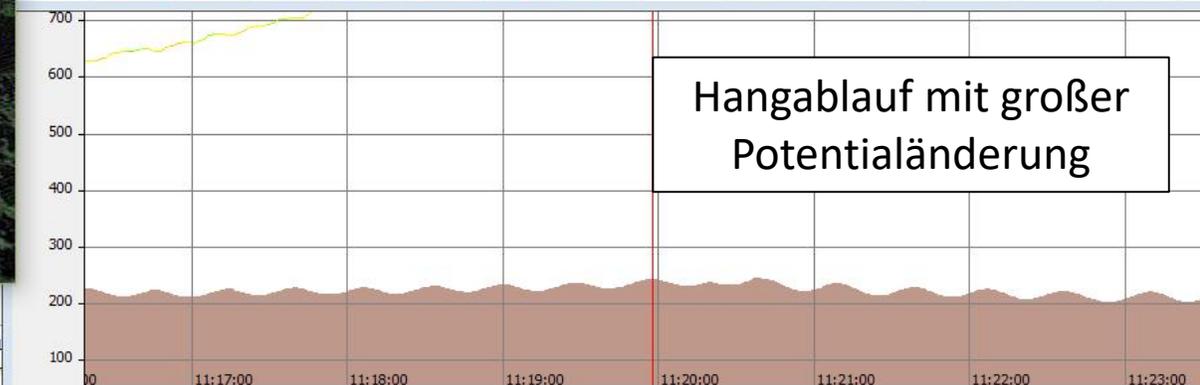
Image Landsat / Copernicus

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	



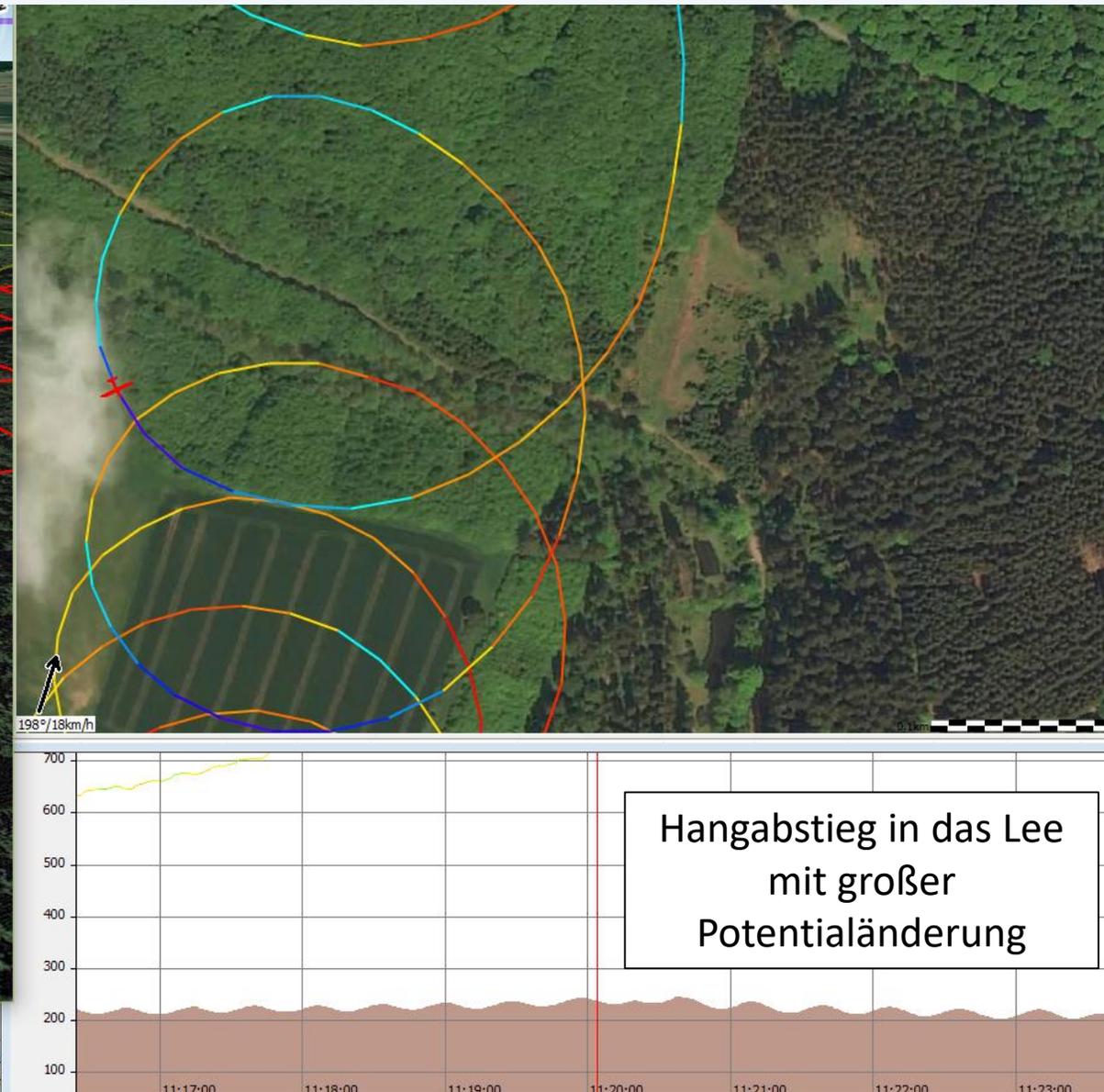
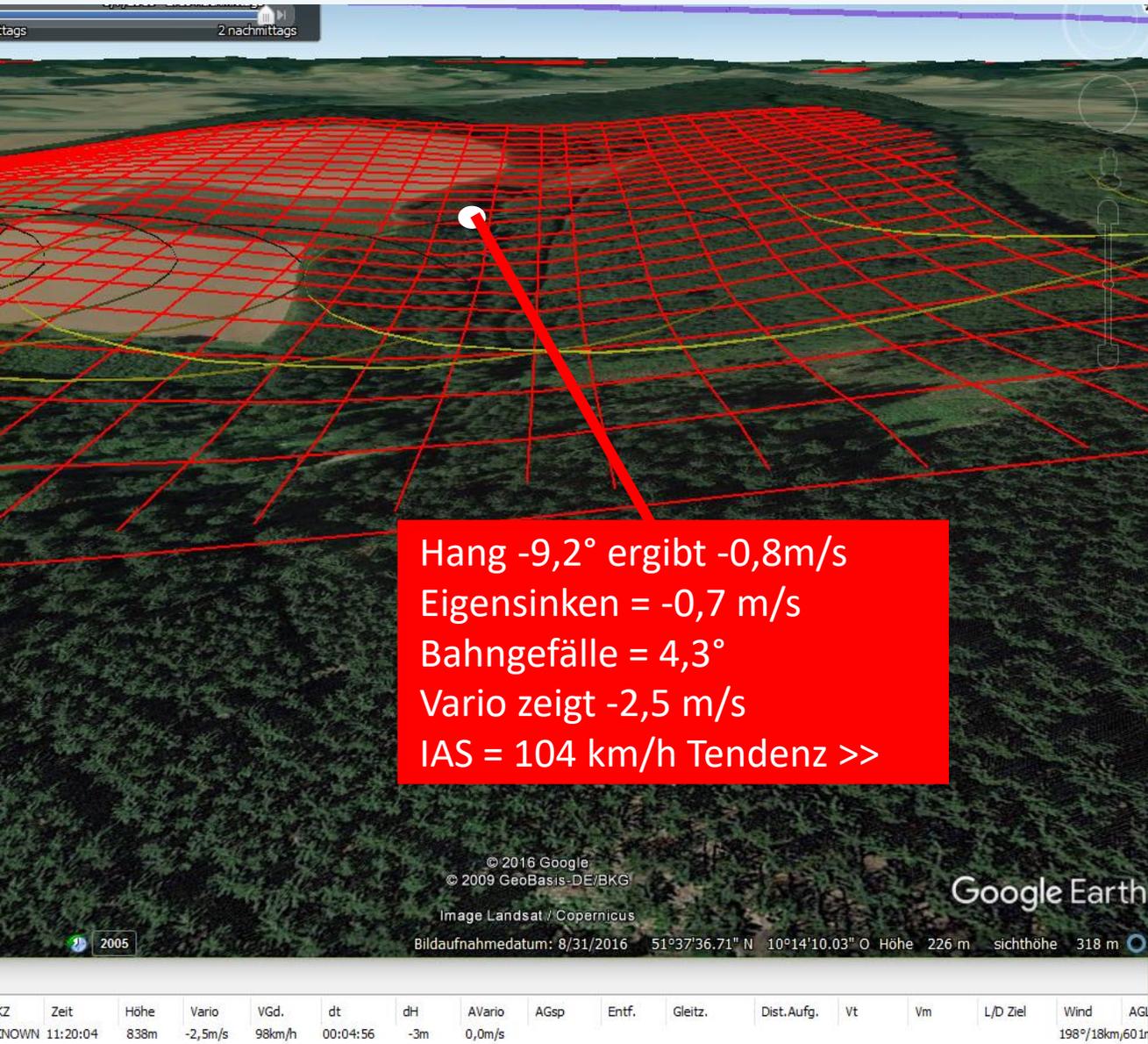
198°/18km/h



Hangablauf mit großer Potentialänderung

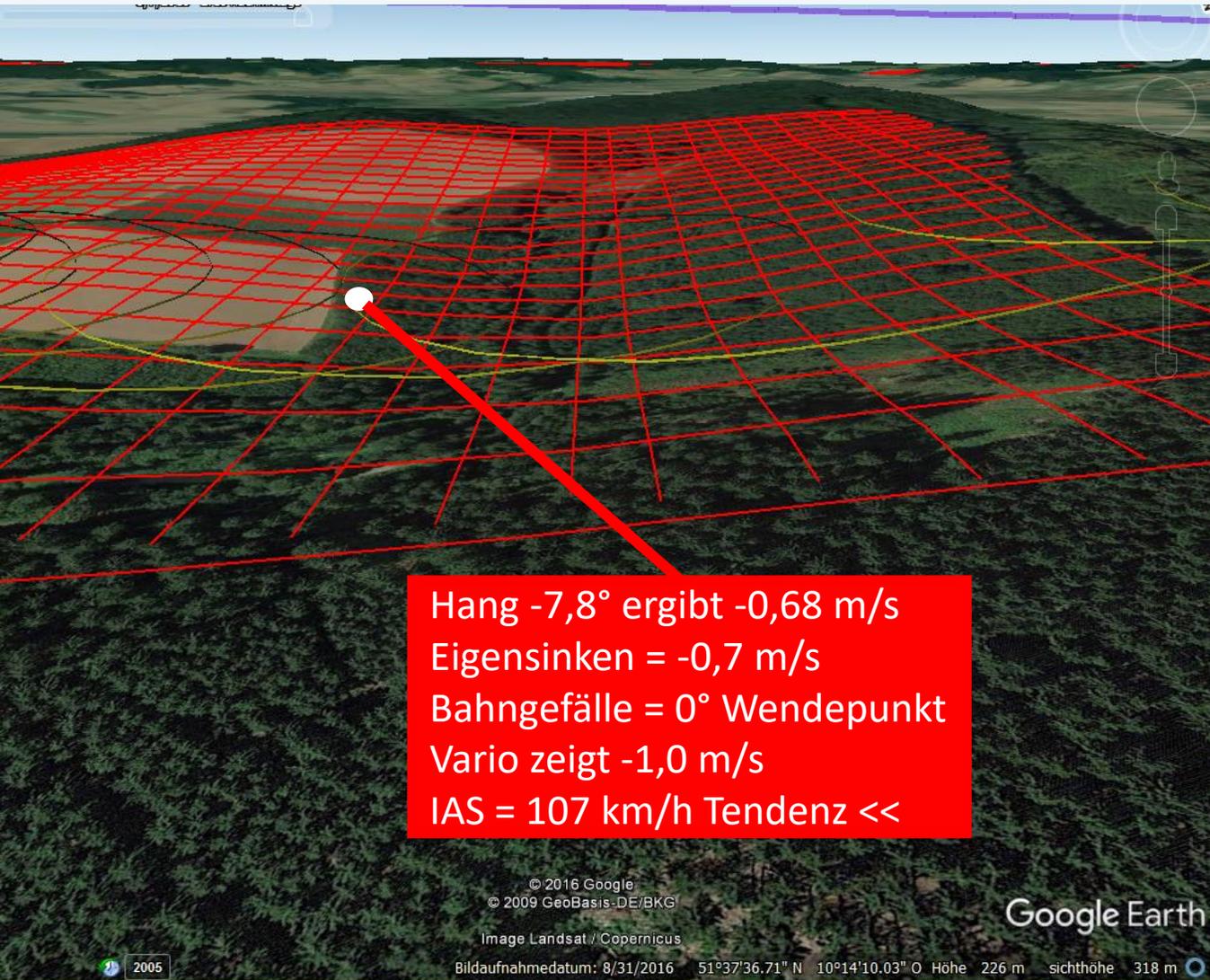
Bewegt sich das Flugzeug im Luv und in Richtung absteigendem Gelände, so ist die Potentialänderung groß. Das Steigen erfährt hohe Werte, bzw. die Thermik kann ungehindert aufwärts strömen

# Potentialtheorie

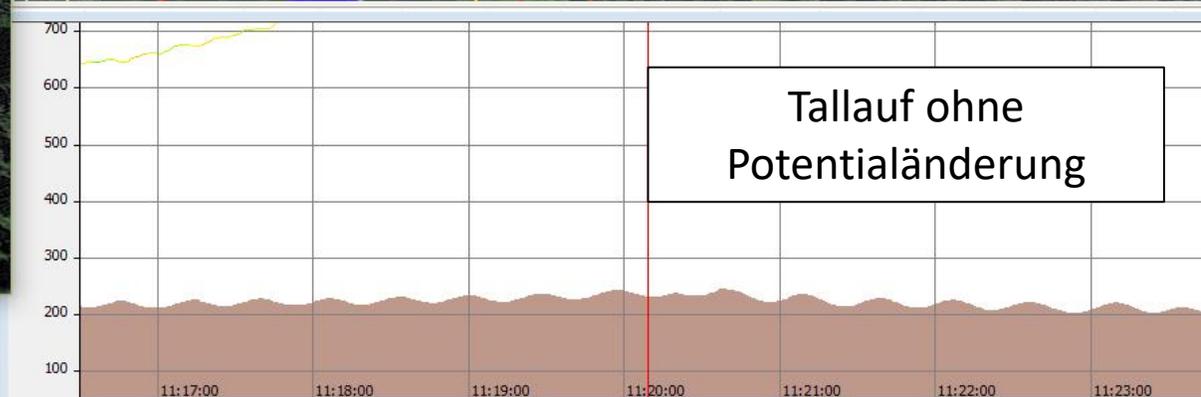
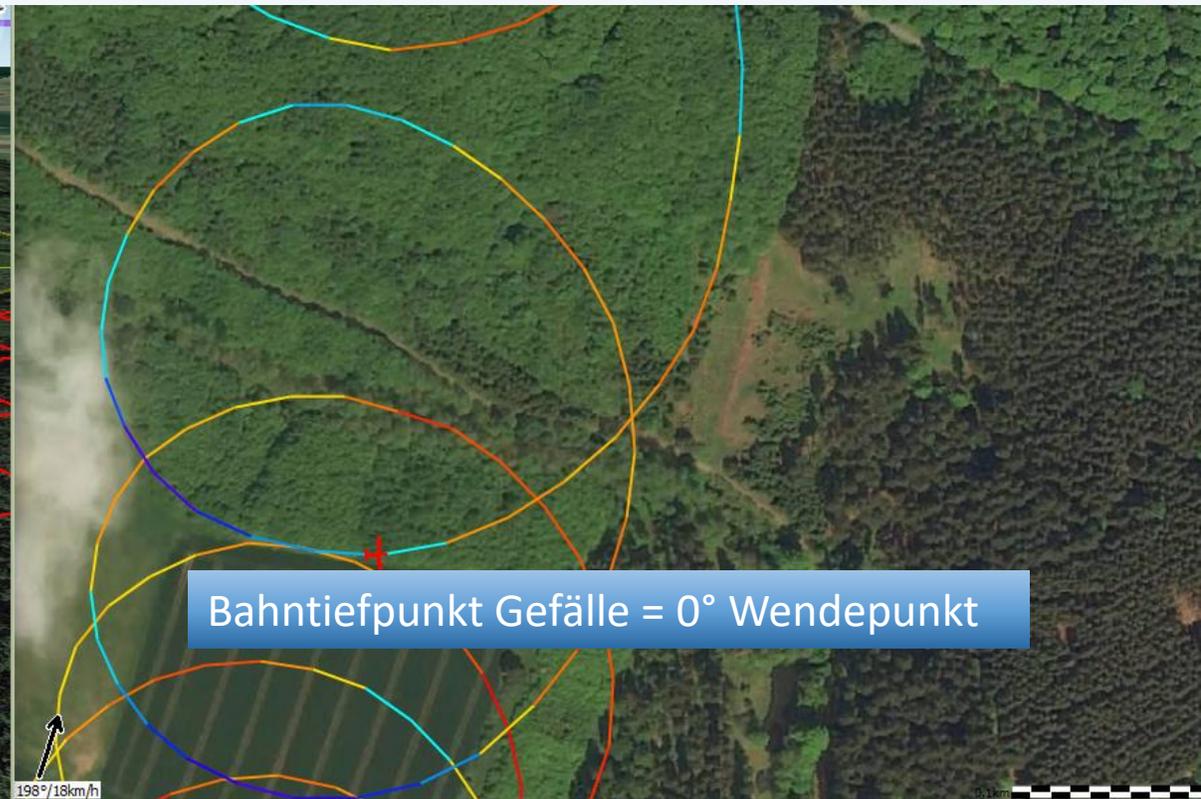


Bewegt sich das Flugzeug im Lee und in Richtung aufsteigendem Gelände, so ist die Potentialänderung groß. Das Steigen erfährt negative Werte, bzw. die Thermik wird durch den Abwind des Hangs im Steigen behindert.

# Potentialtheorie



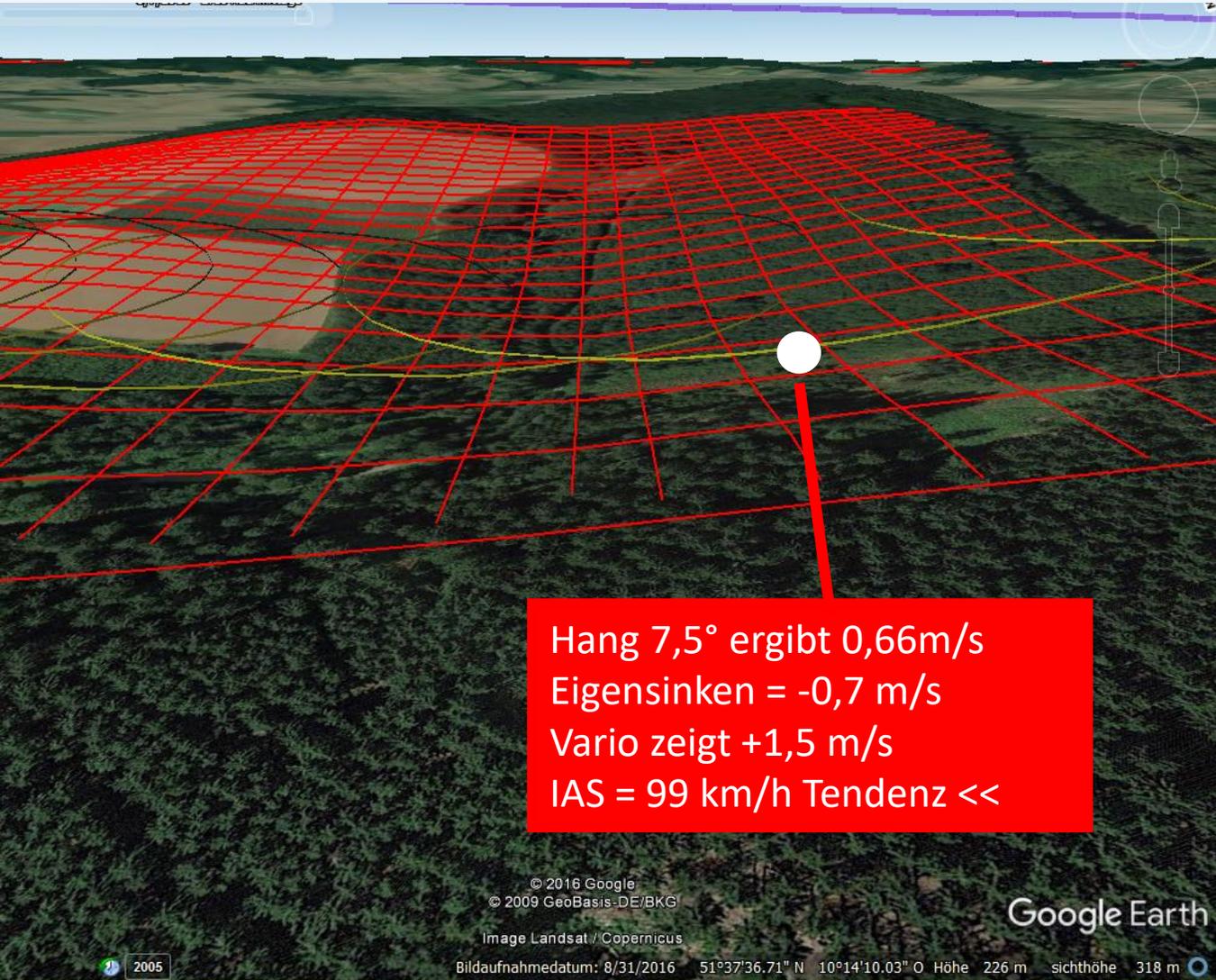
Hang  $-7,8^\circ$  ergibt  $-0,68$  m/s  
Eigensinken =  $-0,7$  m/s  
Bahngefälle =  $0^\circ$  Wendepunkt  
Vario zeigt  $-1,0$  m/s  
IAS = 107 km/h Tendenz <<



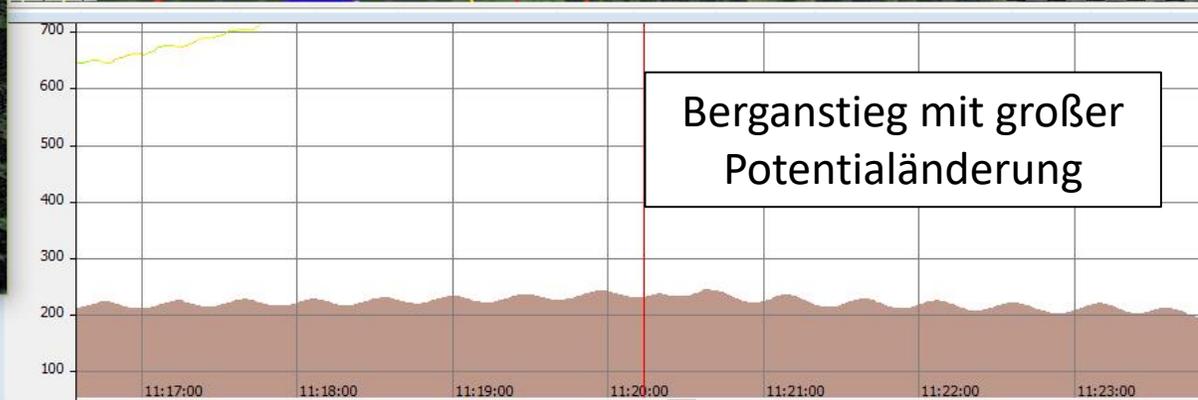
WKZ	Zeit	Höhe	Vario	VGd.	dt	dH	AVario	AGsp	Entf.	Gleitz.	Dist.Aufg.	Vt	Vm	L/D Ziel	Wind	AG
UNKNOWN	11:20:09	822m	-1,0m/s	119km/h	00:04:56	-3m	0,0m/s								198°/18km,590r	

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

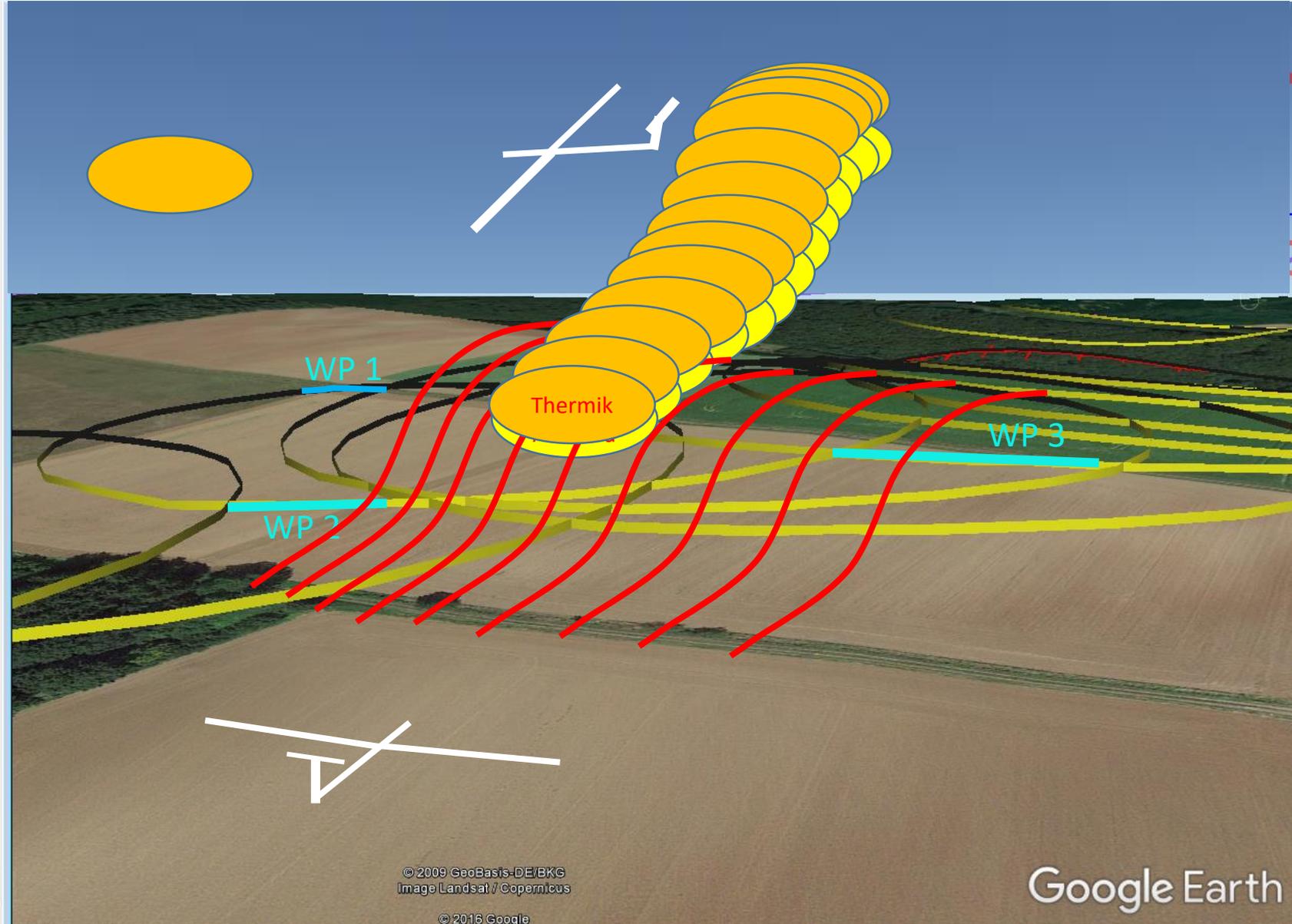


Hang 7,5° ergibt 0,66m/s  
Eigensinken = -0,7 m/s  
Vario zeigt +1,5 m/s  
IAS = 99 km/h Tendenz <<

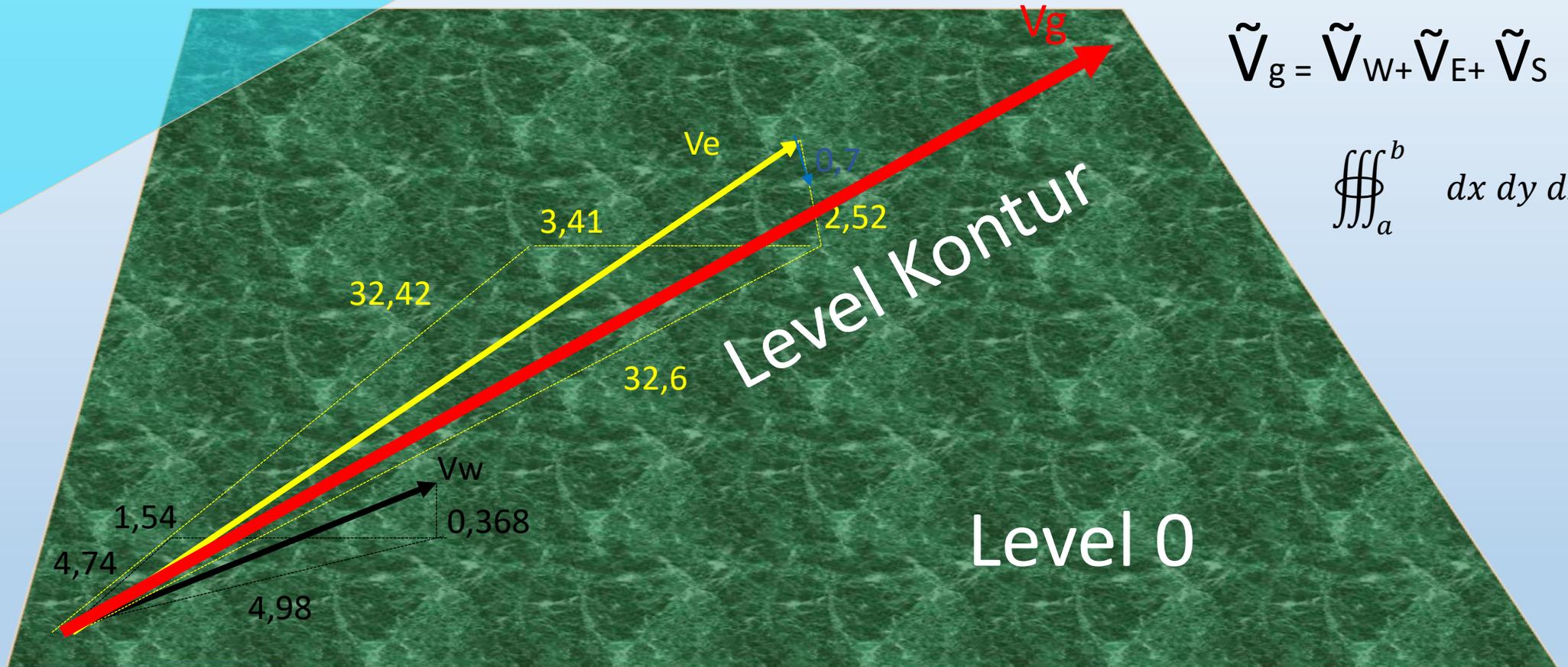


Bewegt sich das Flugzeug im Luv und in Richtung aufsteigendes Gelände, so ist die Potentialänderung groß. Das Steigen erfährt den Maximalwert, bzw. die Thermik kann ungehindert aufwärts strömen

# Zusammenhang Wendepunkt und Thermik-Drift



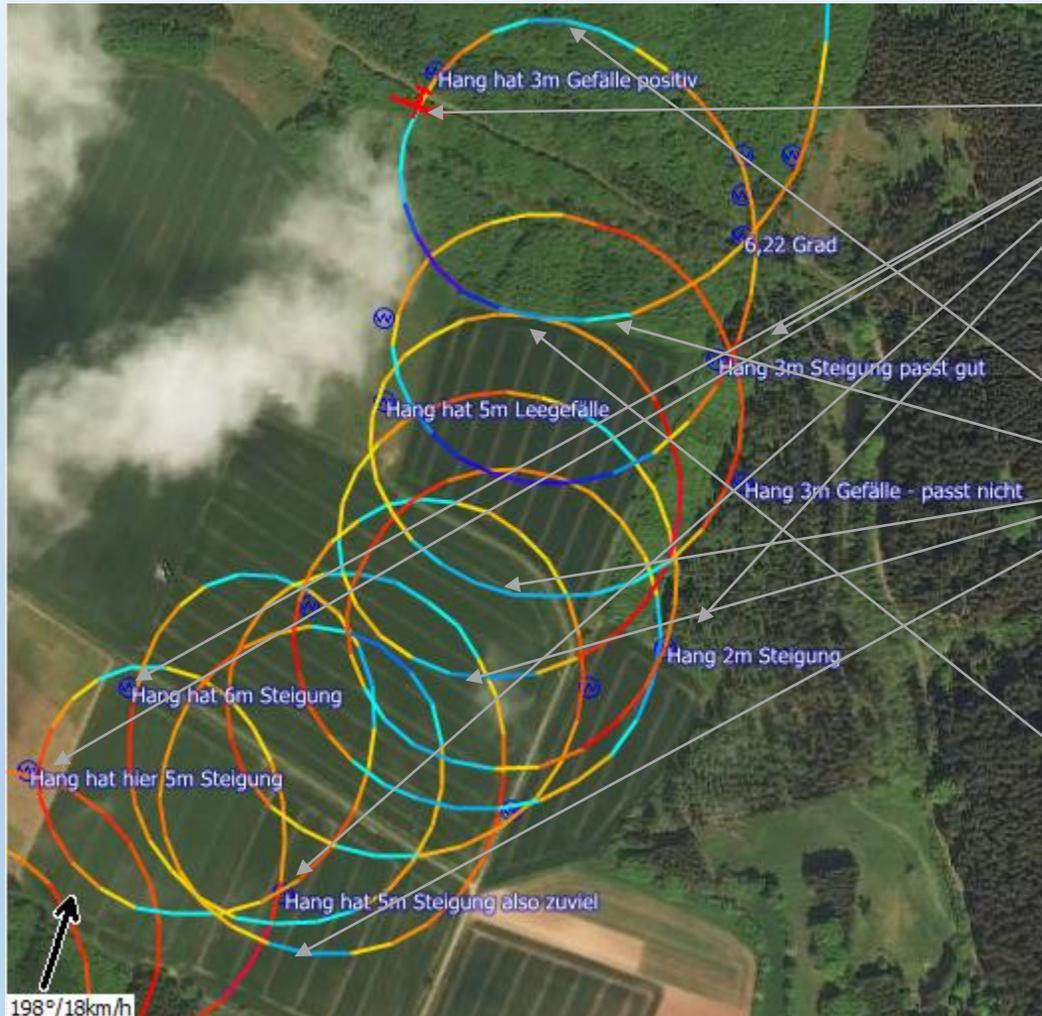
# 3D Momentaufnahme im Kreisflug



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

$$\iiint_a^b dx dy dz$$

# Thermik und Hangneigung

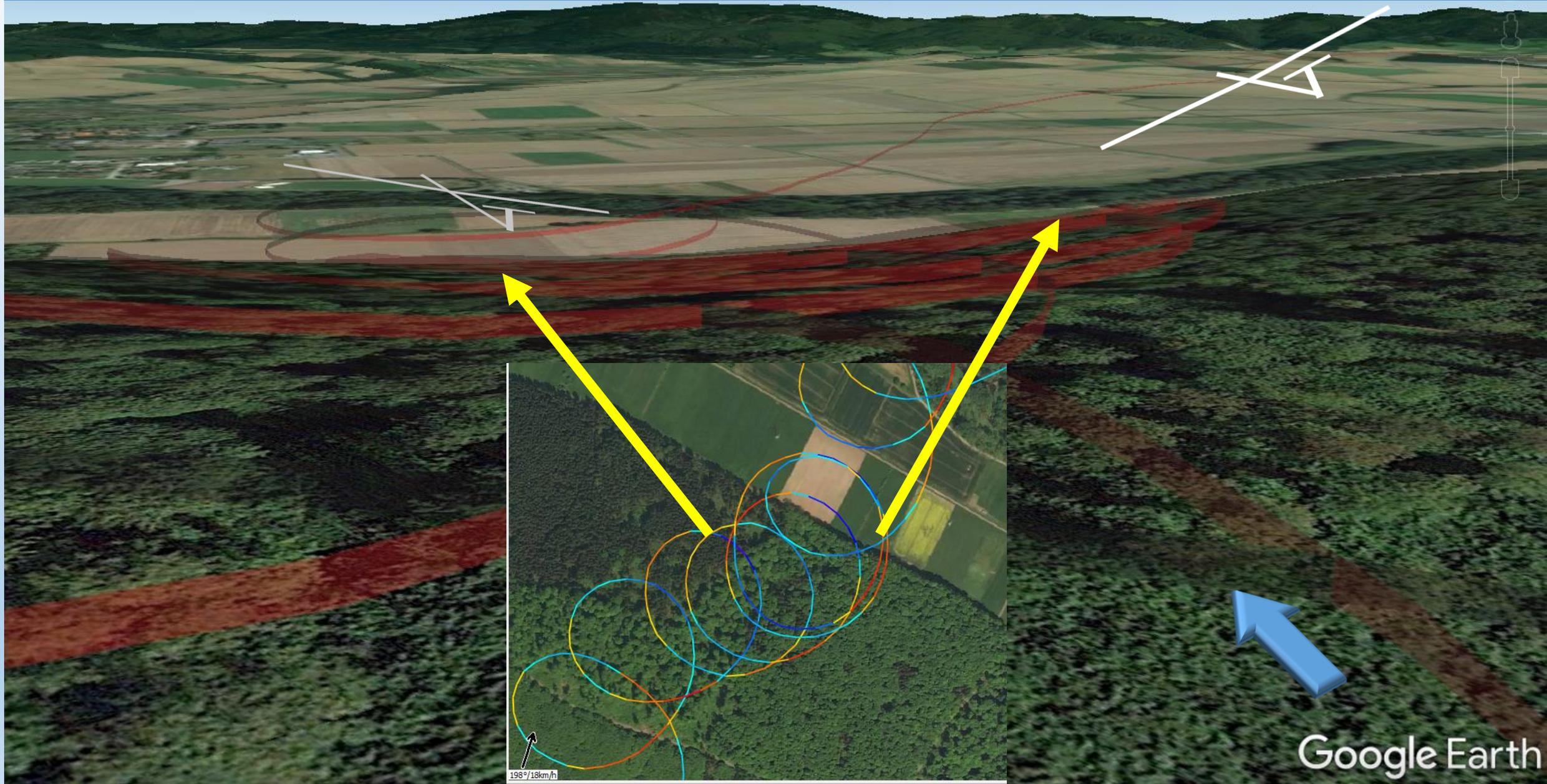


Angezeigtes Steigen ist etwas kleiner als die Hangneigung

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

Flache Bereiche beeinflussen das Steigen/Sinken der Thermik unwesentlich

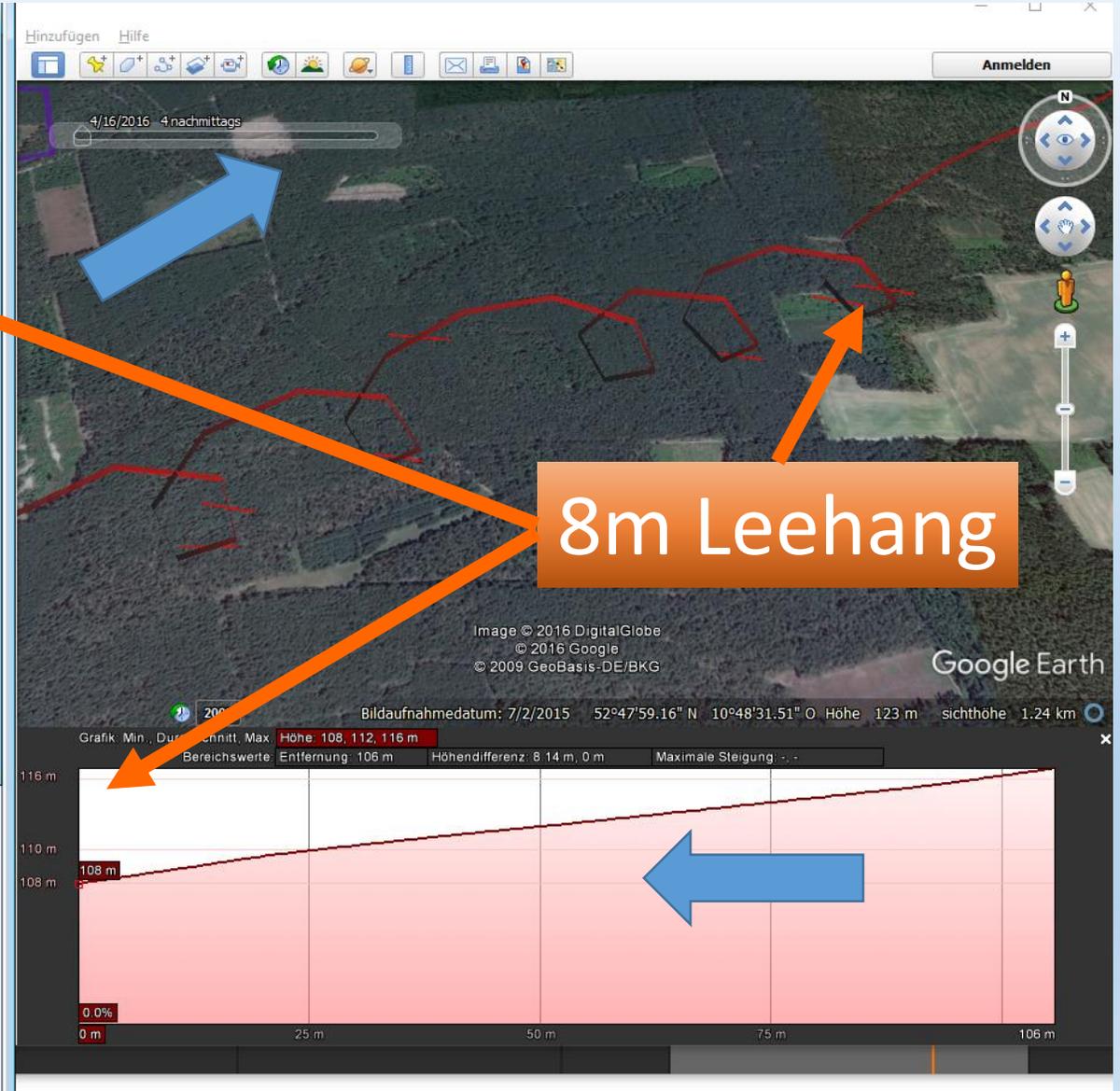
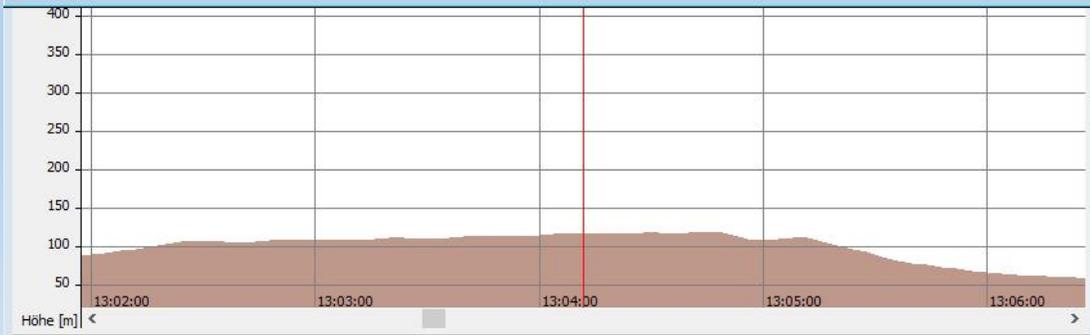
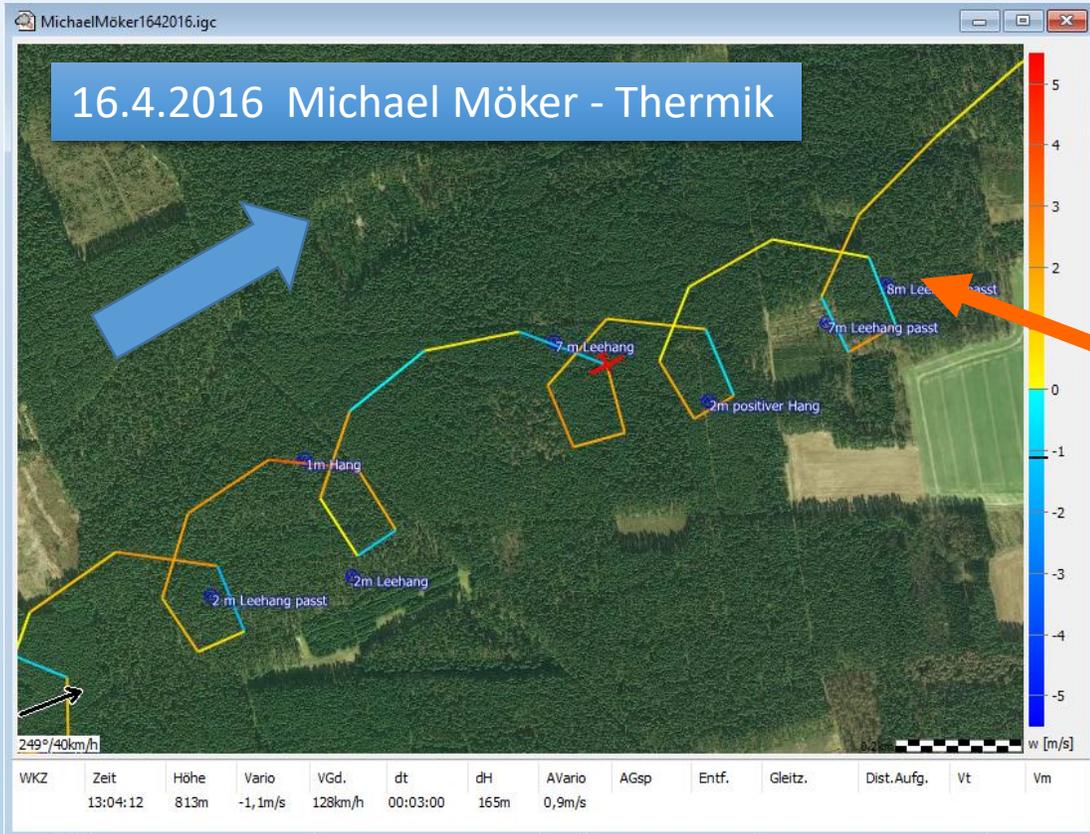
# Lee-Hang



198°/18km/h

Google Earth

# Thermik und Hangneigung



# Hangwind, Welle und Thermik

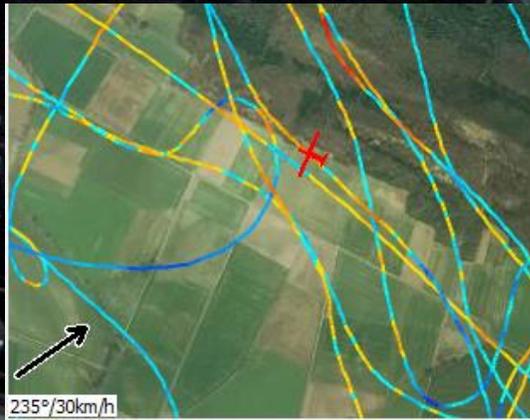
16.4.2016



Wellenaufwind im wolkenfreien Bereich

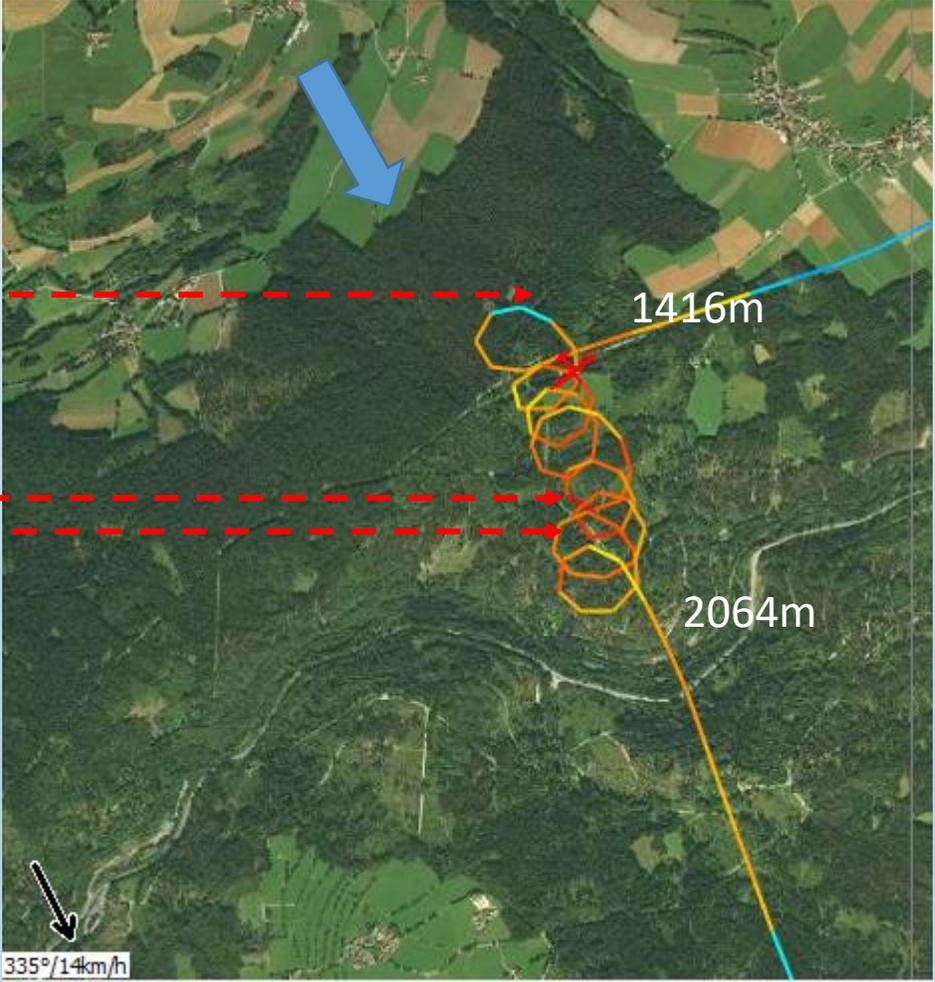
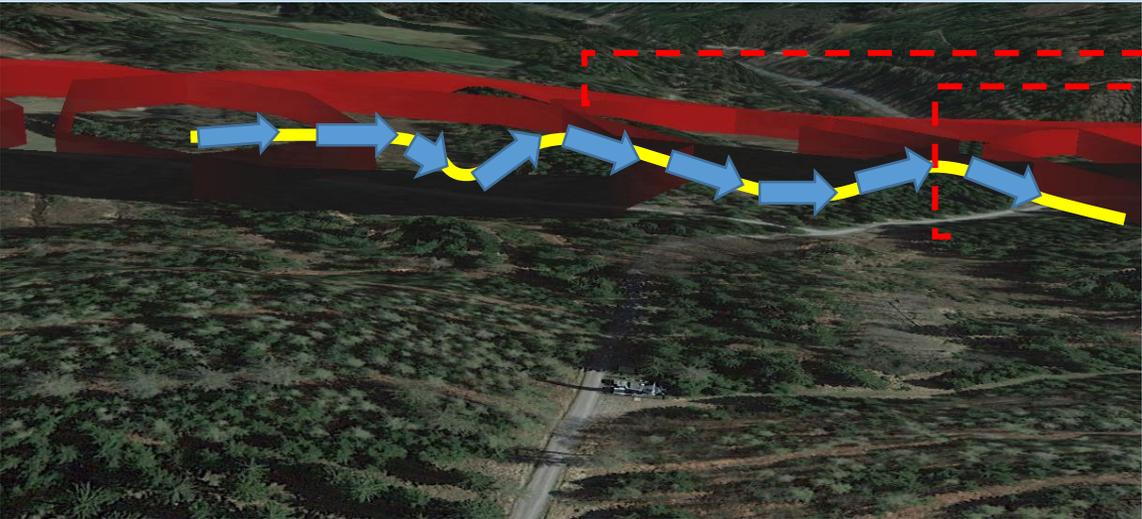
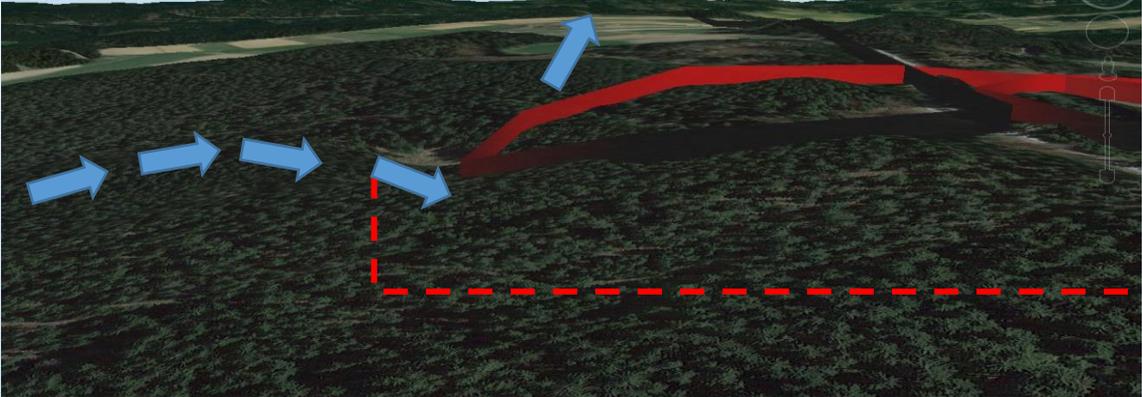
Wellenaufwind in 1500m ü. Grund

Wellenaufwind mit 30km/h Wind



# Thermik und Welleneinfluss am Leehang

20.7.2016 Matthias Picht



# Kontureinfluss beim Vorflug





Den richtigen Kurs wählen!

Emme<sup>510</sup>

Ende

BackUp

# Potential-Lösungsansatz

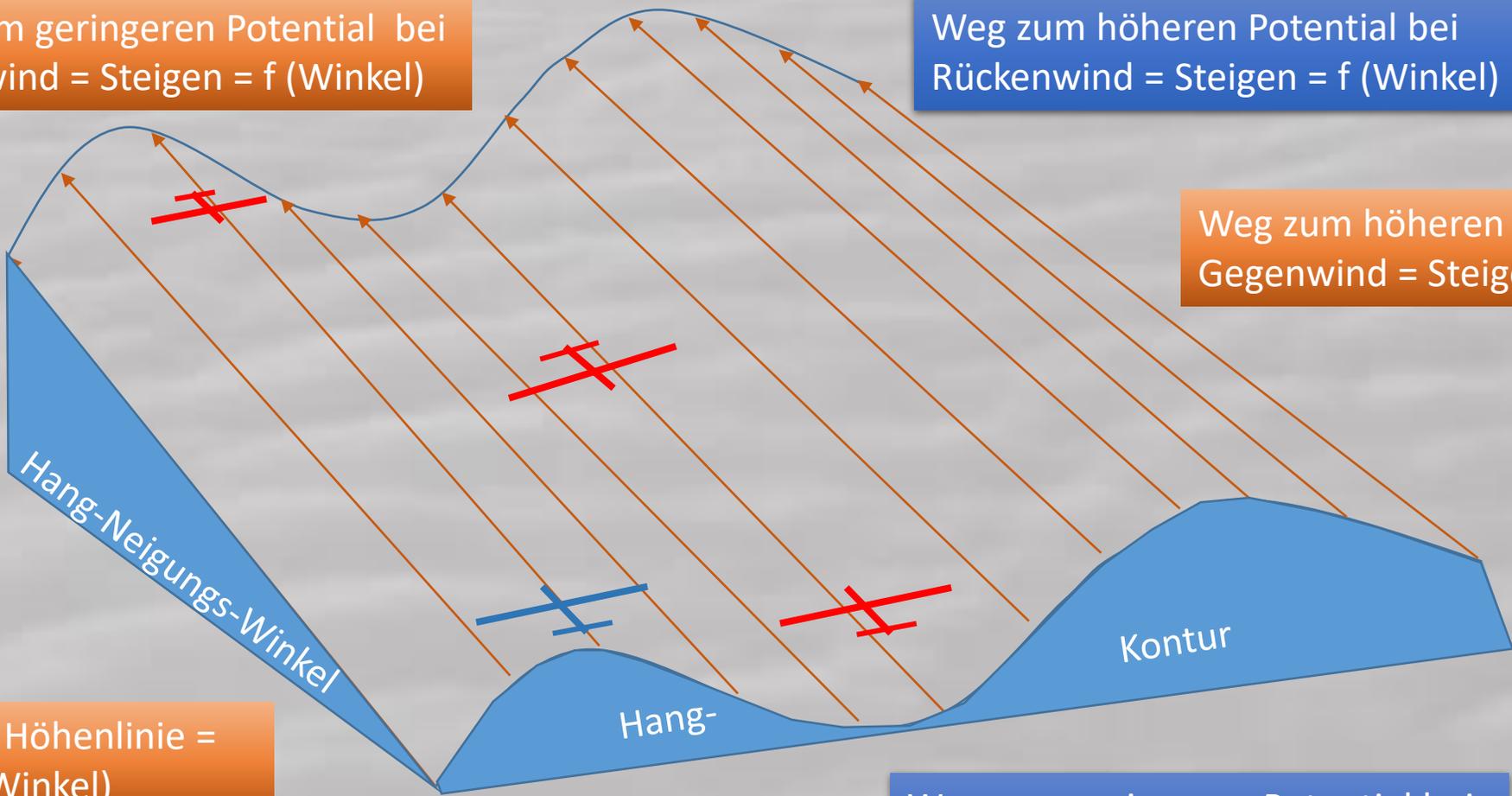
Weg zum geringeren Potential bei Gegenwind = Steigen =  $f(\text{Winkel})$

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 =  $f(\text{Winkel})$

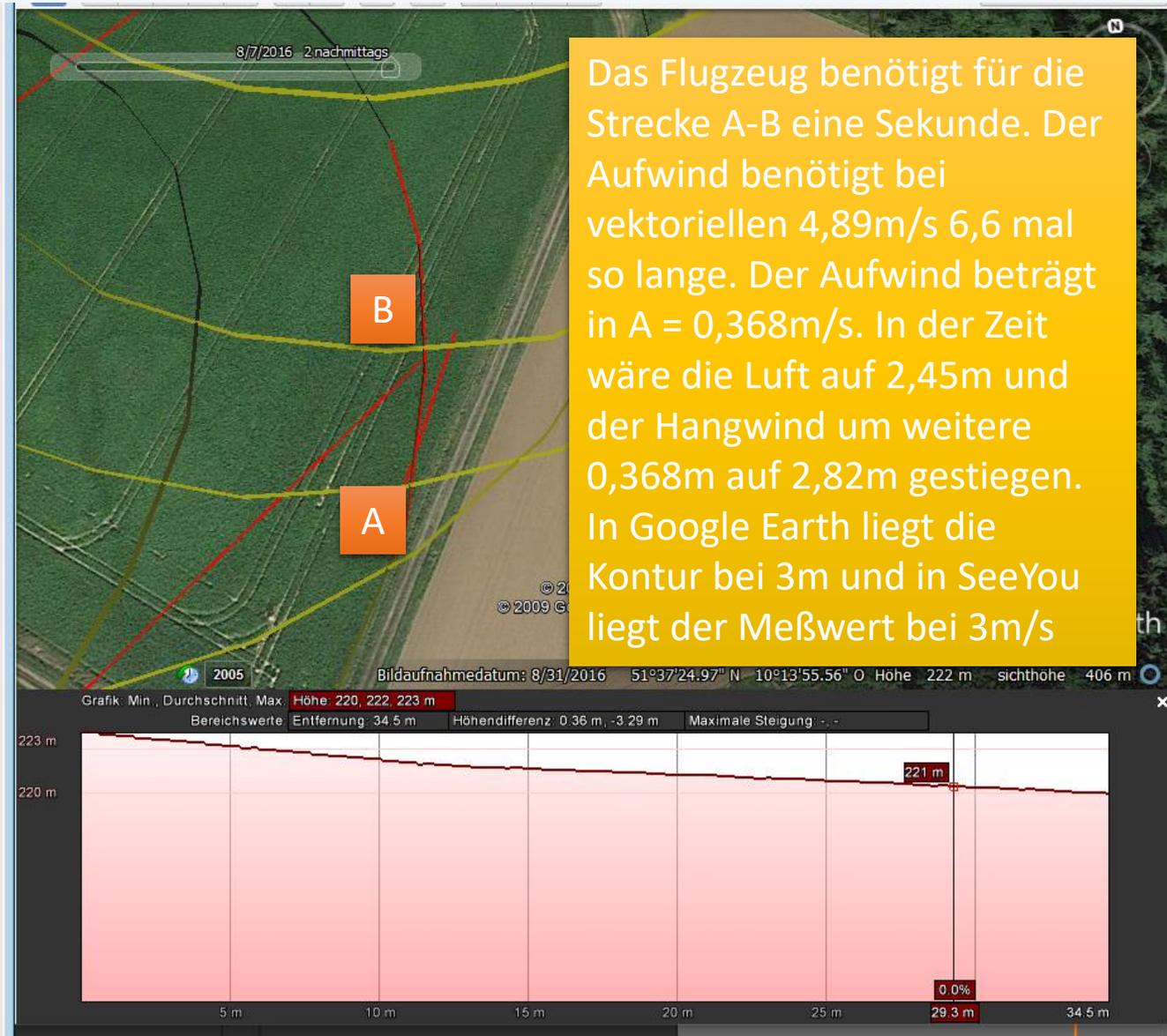
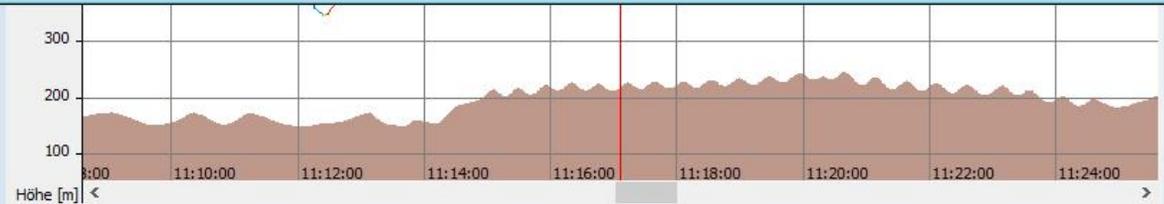
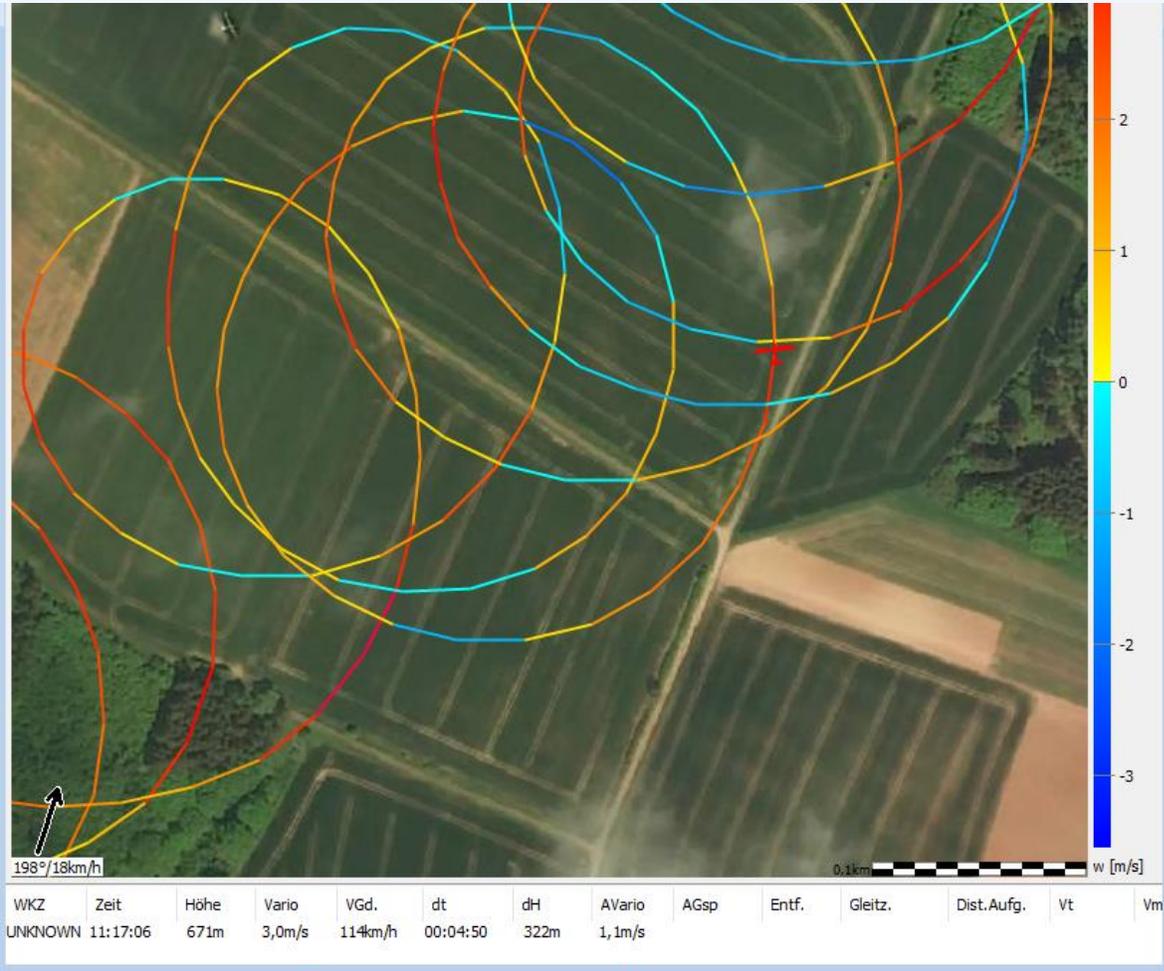
Weg zum geringeren Potential bei Rückenwind = Fallen =  $f(\text{Winkel})$



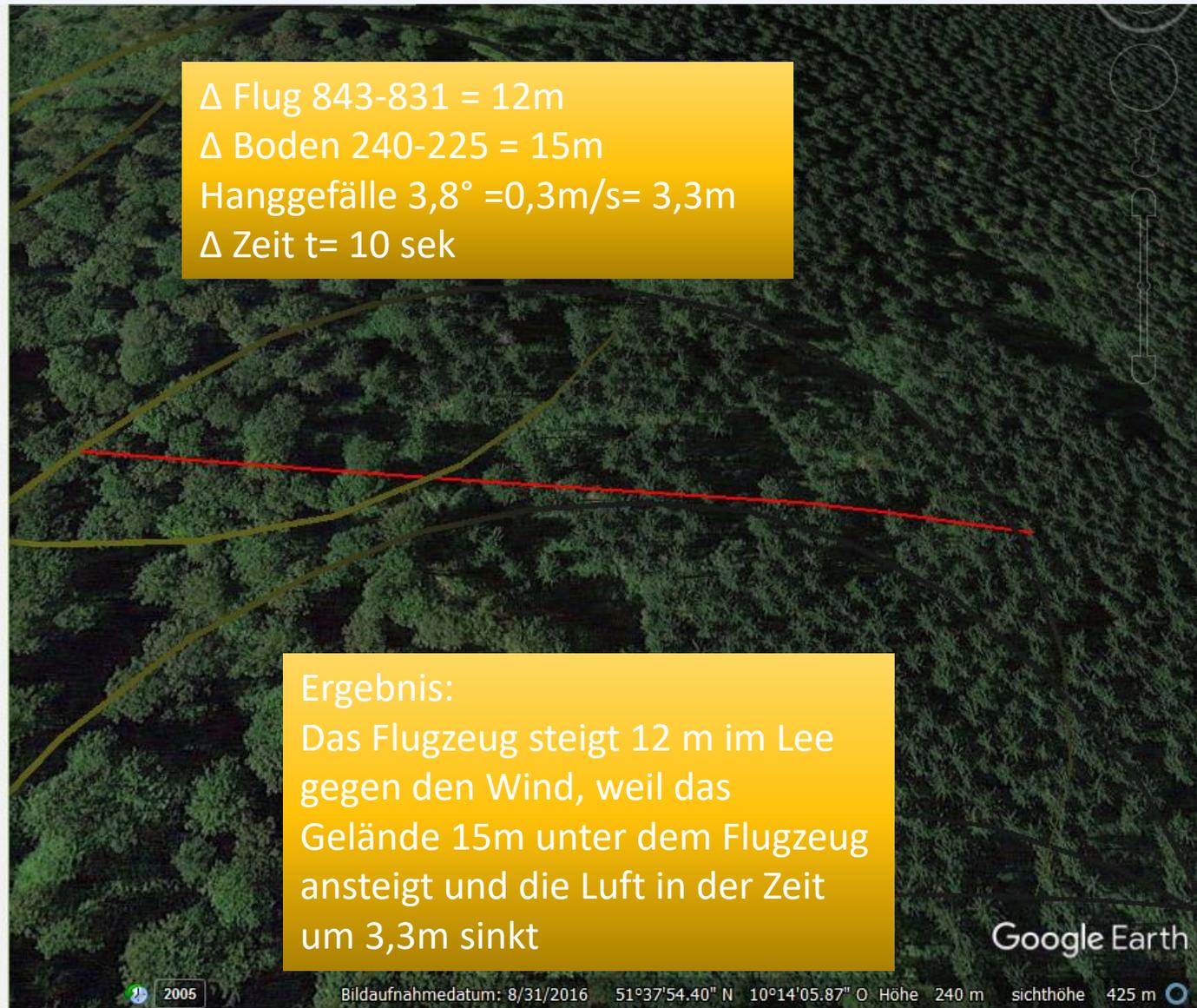
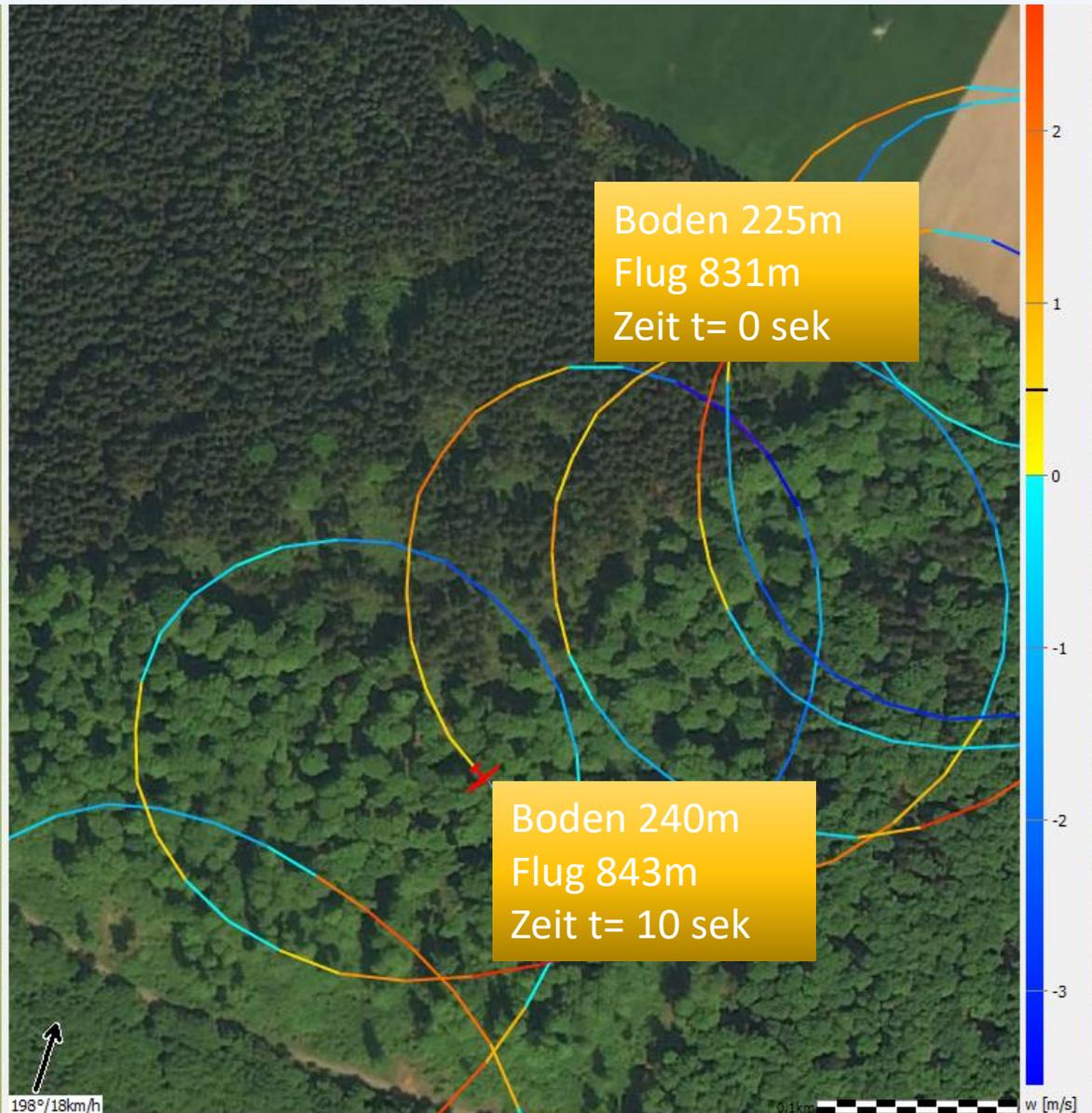
# Potential-Analyse

- 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

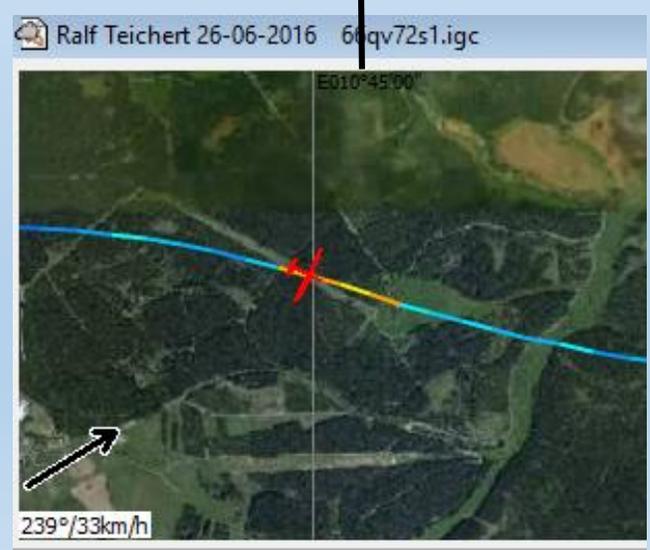
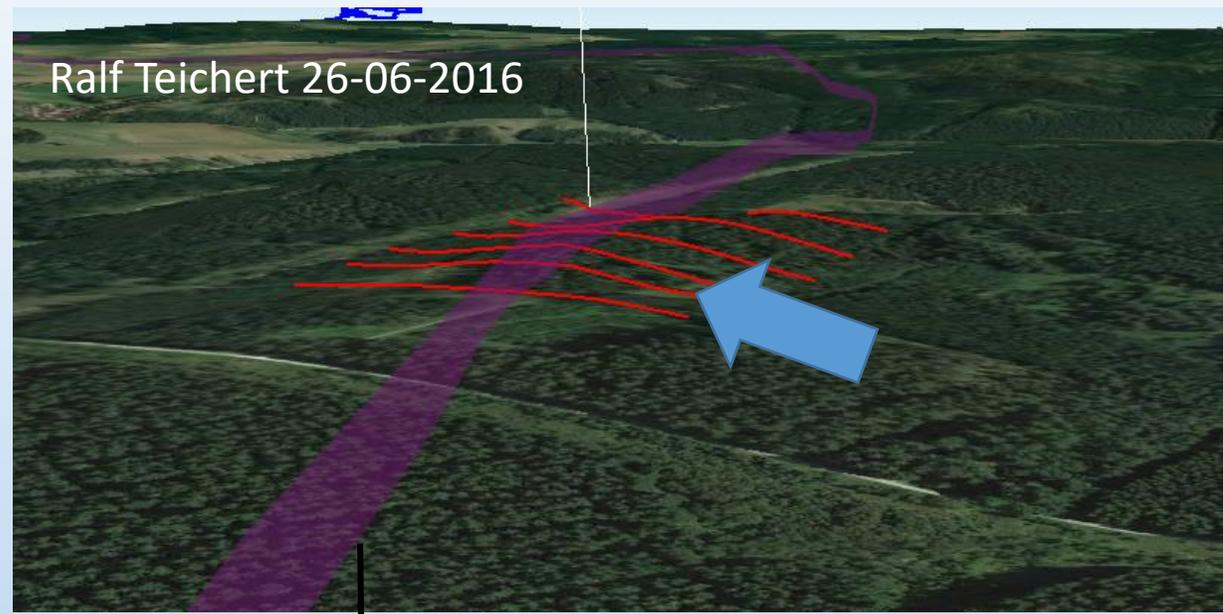


# Nachweis der Potential-Theorie



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

