

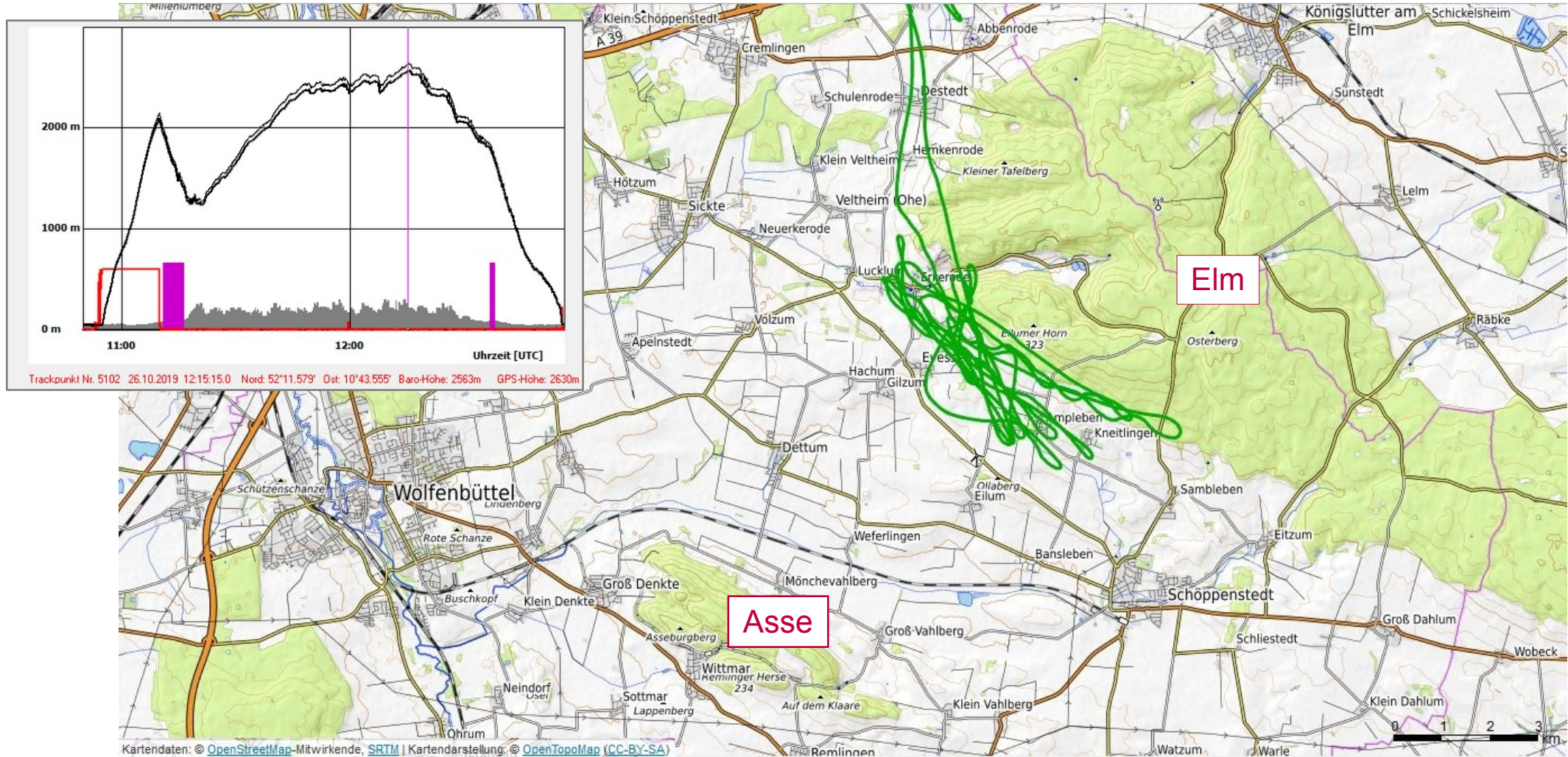


In der Asse-Elm-Resonanzwelle auf 2.600 m

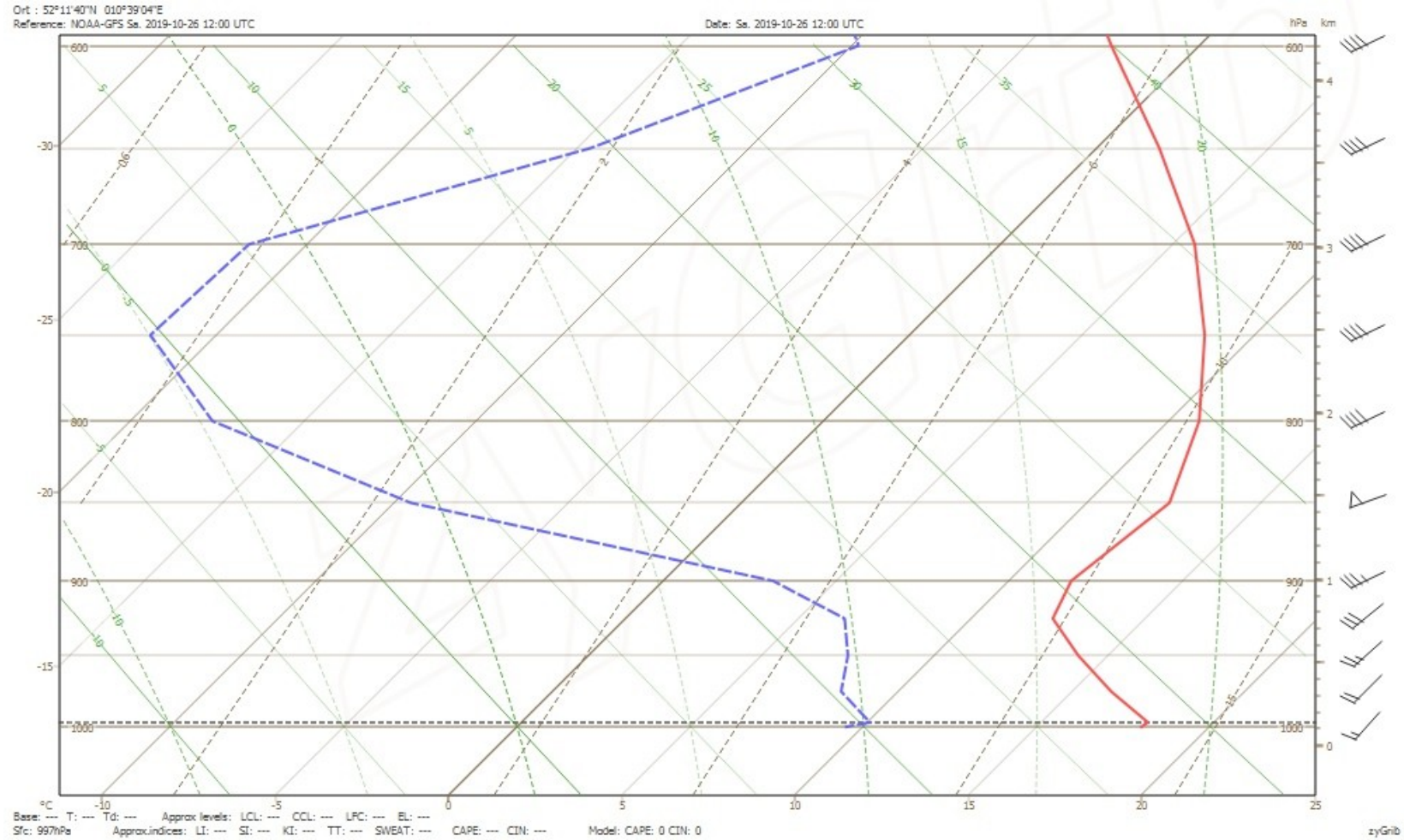
Oliver Predelli

Jahrestreffen 07.03.2020

Flugweg am 26.10.2019

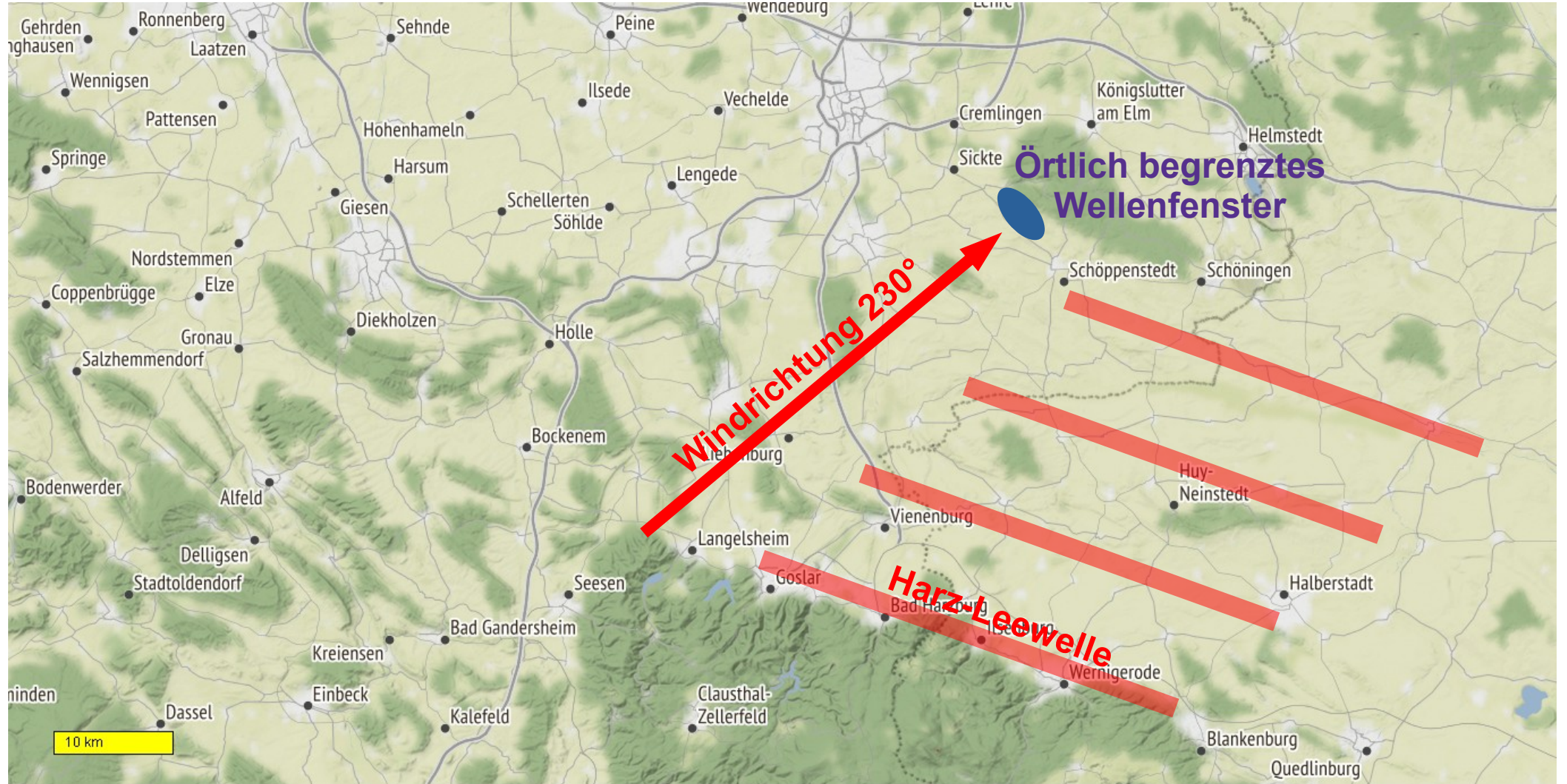


Prognosetemp für Evessen am 26.10.2019, 12 UTC



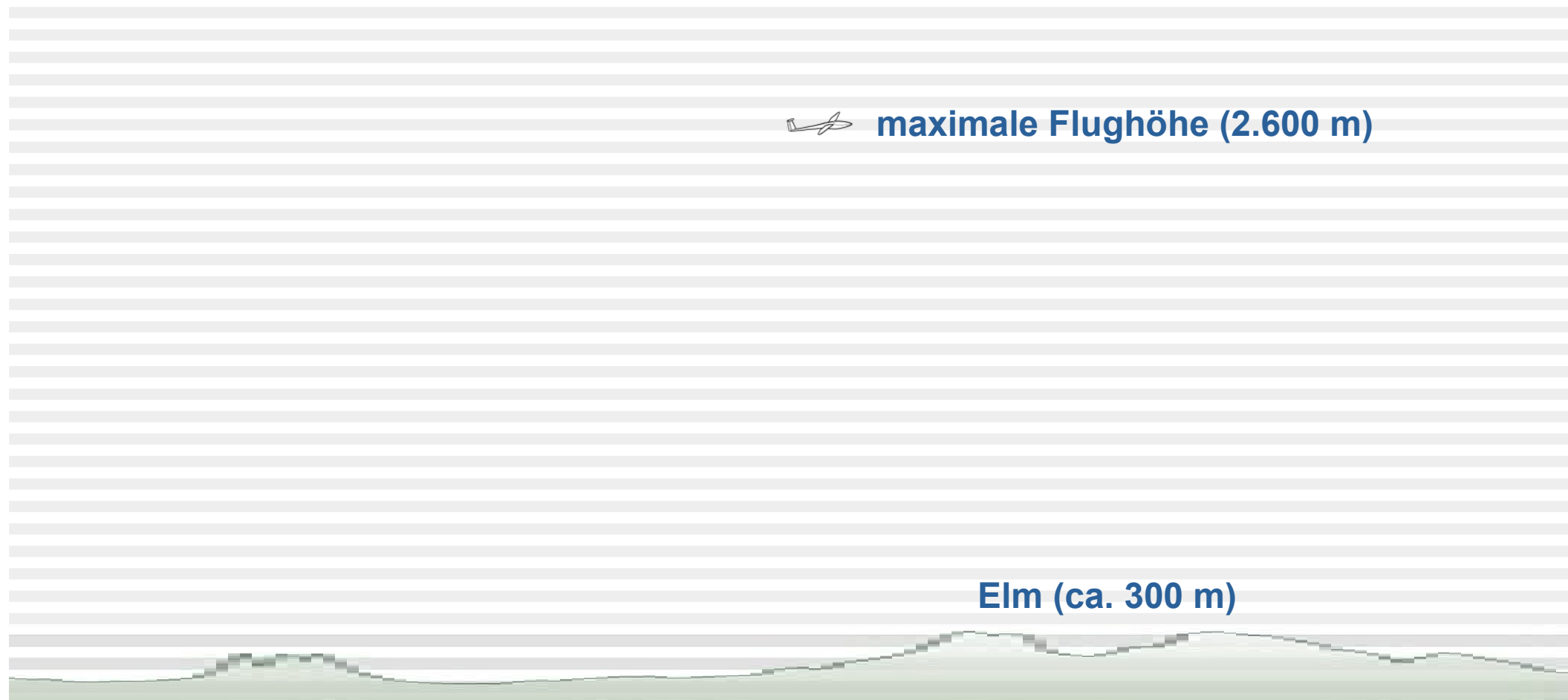
Eine Welle, die es nicht geben kann?

Die Asse-Elm-Welle ist keine Folgeschwingung der Harzwelle



Eine Welle, die es nicht geben kann?

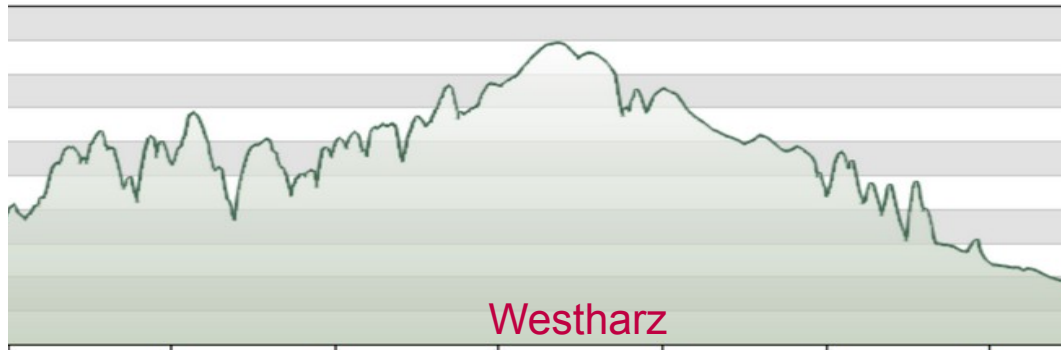
Die Asse-Elm-Welle ist kein Hangaufwind am Elmrand



Quelle Geländeprofil: <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>

Eine Welle, die es nicht geben kann?

Die Asse-Elm-Welle ist keine Leewelle hinter der Asse



Geländeprofile



Temperatur in der Höhe:	siehe Temp
Windgeschwindigkeit:	90 km/h
Brunt-Väisälä-Frequenz:	0,0146 /s
Wellenlänge:	10,7 km

Leewelle Harz

max. Vertikalgeschwindigkeit: **3,5 m/s**

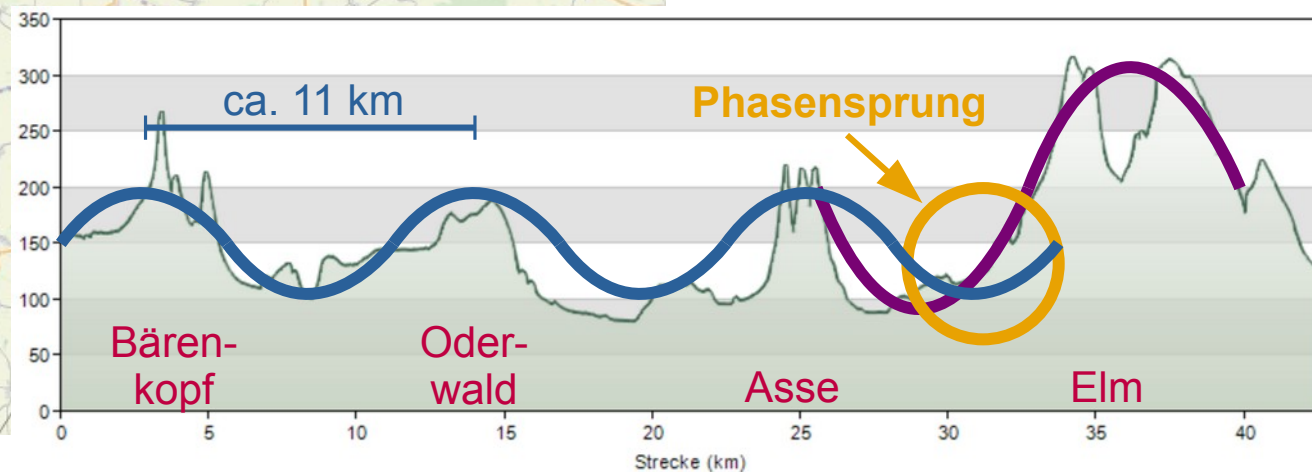
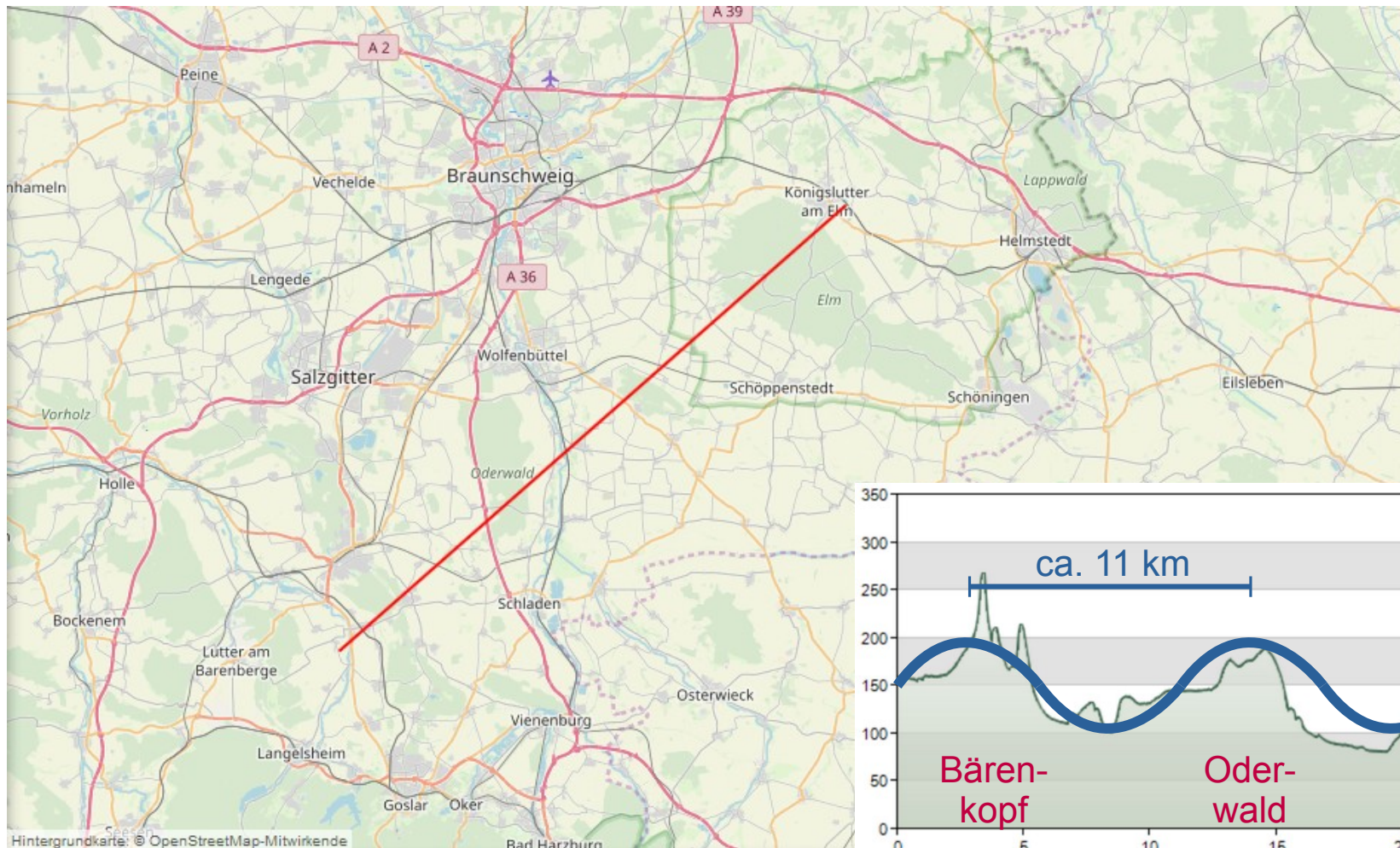
Leewelle Asse

max. Vertikalgeschwindigkeit: **0,6 m/s**

*nicht fliegbar in
einem Segelflugzeug*

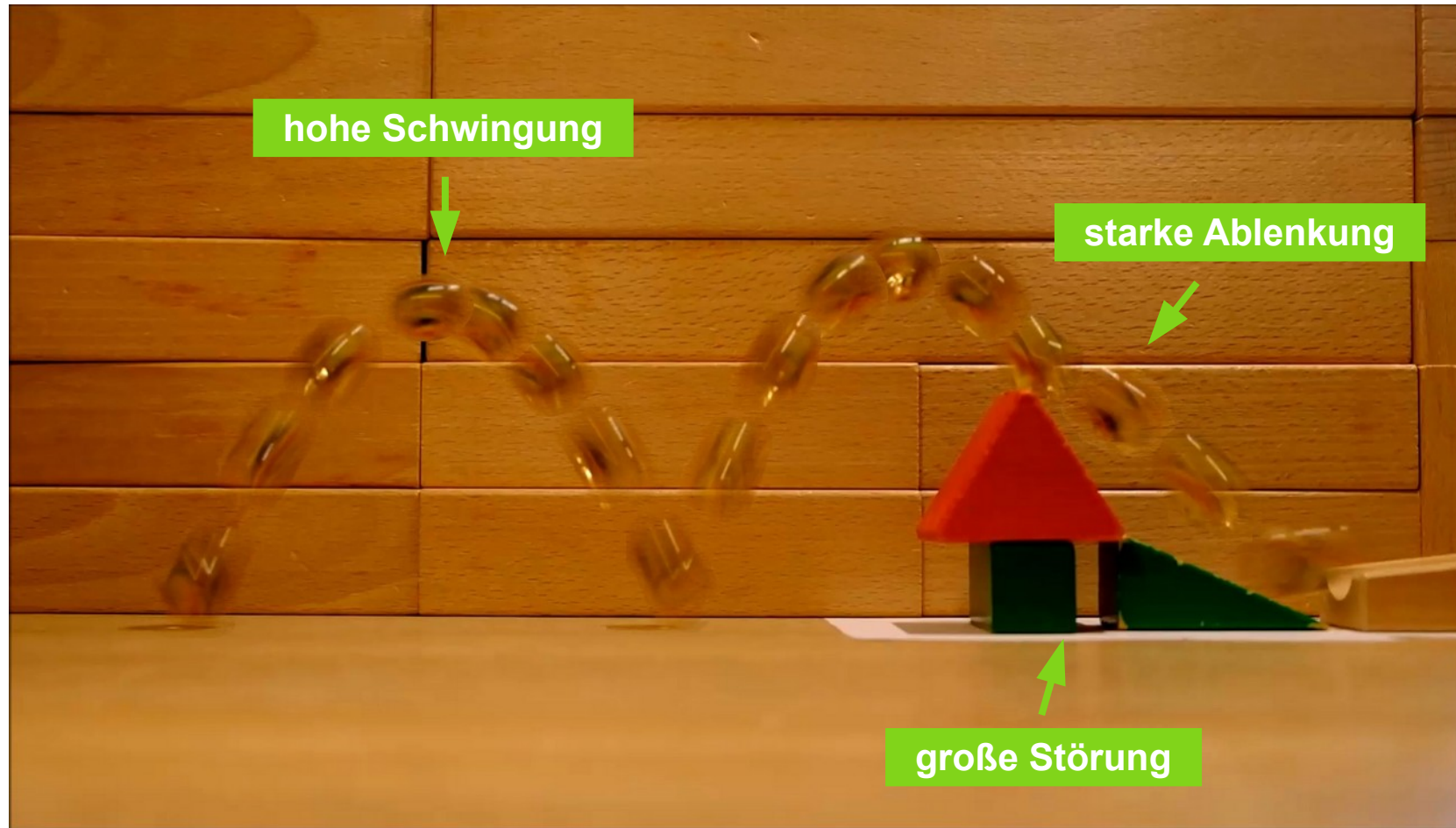
Das Geländeprofil ist entscheidend

Beispiel: Wind aus 230°

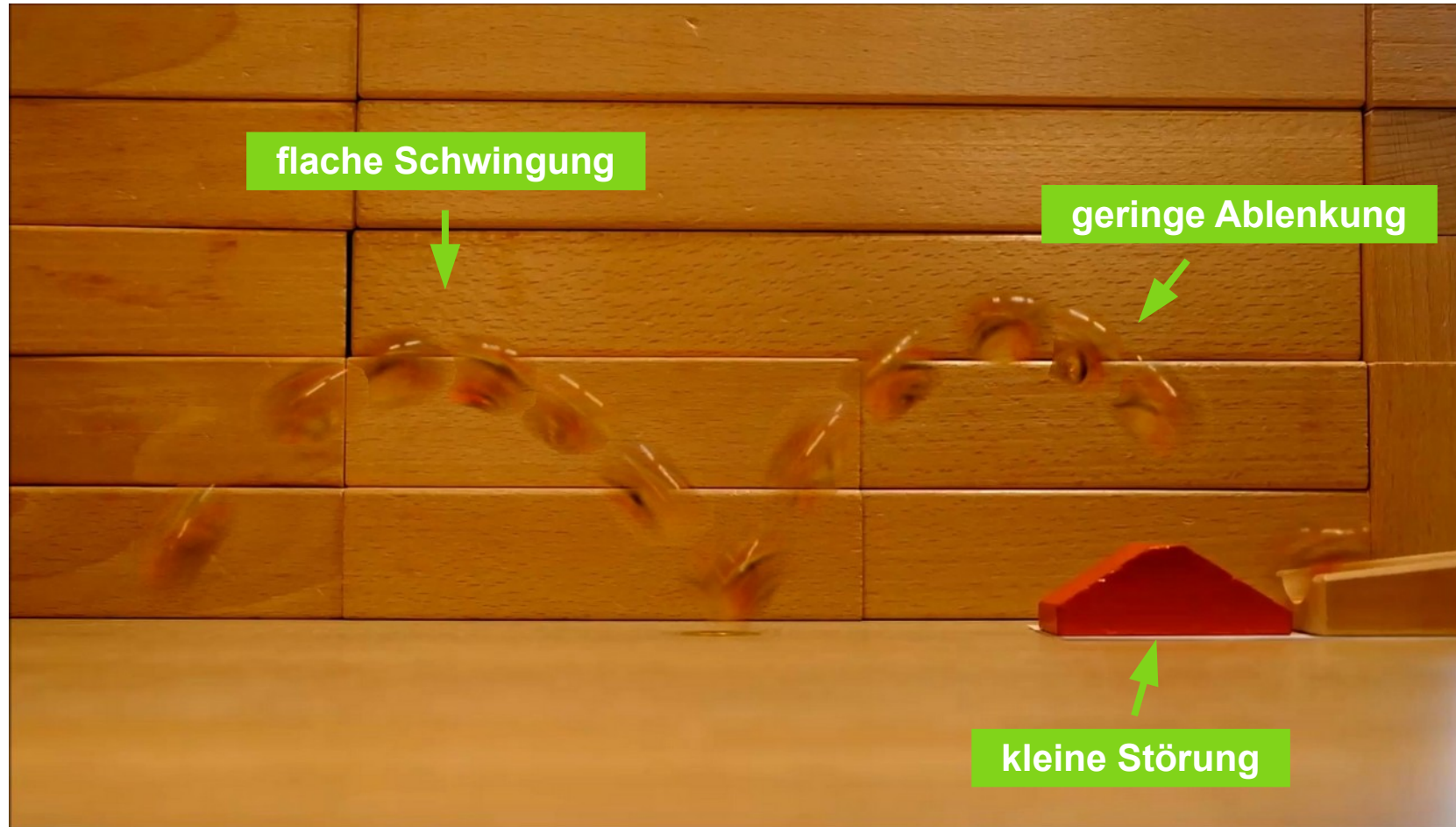


Was ist eine Resonanzwelle?

Vorüberlegungen "Brocken"

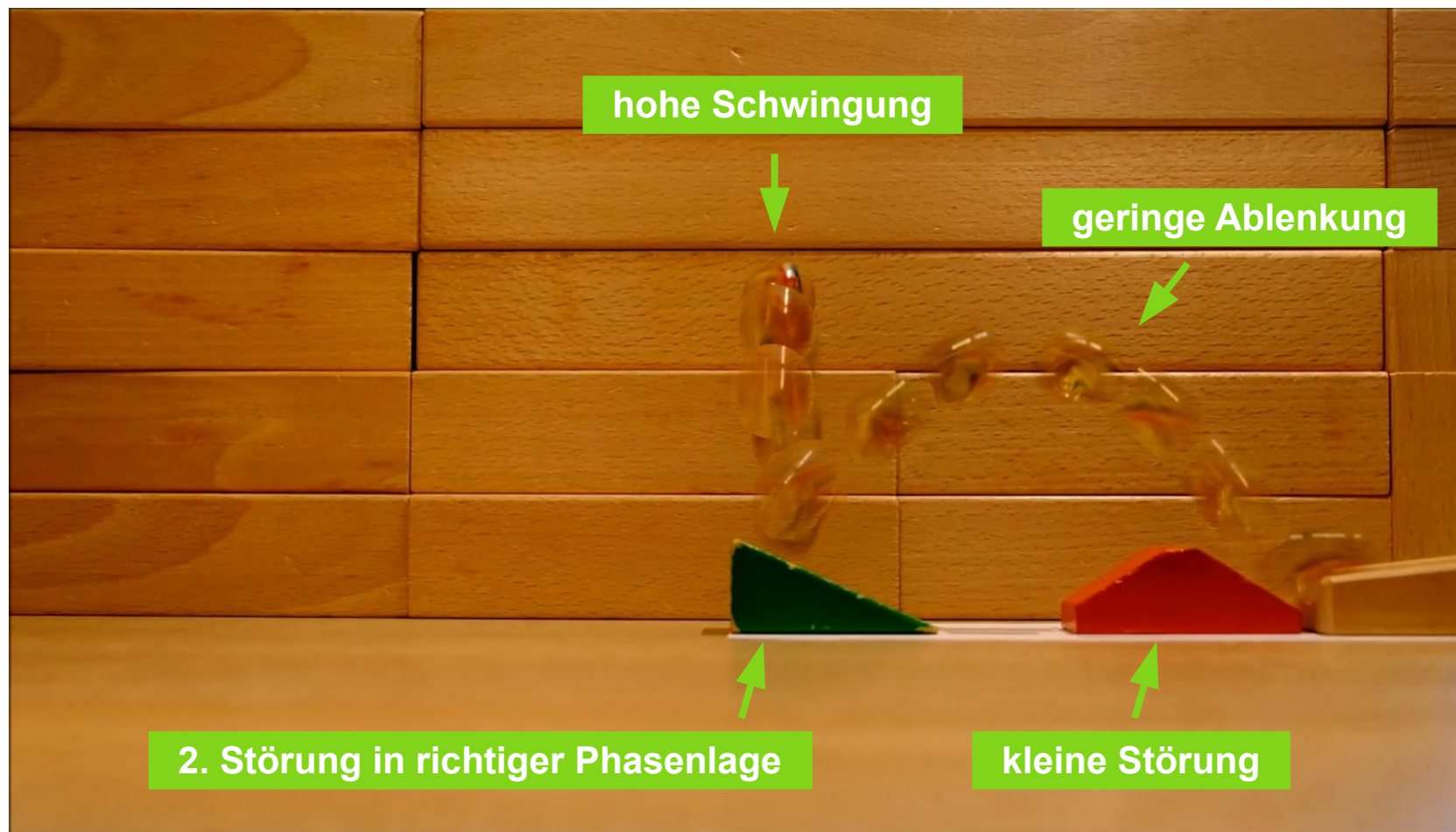


Was ist eine Resonanzwelle? Vorüberlegungen "Asse allein"

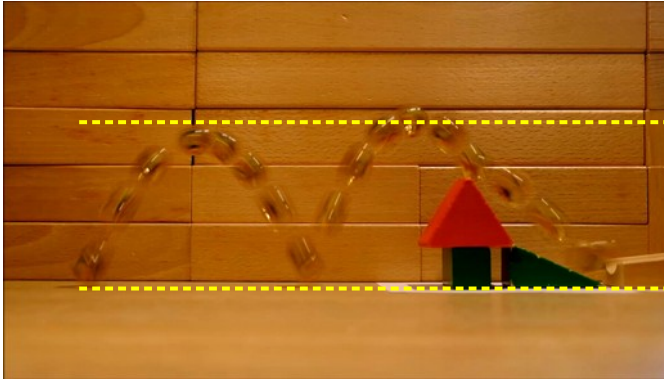


Was ist eine Resonanzwelle?

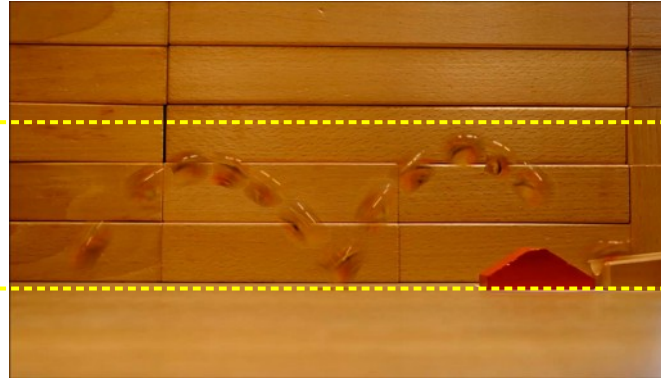
Vorüberlegungen "Asse mit Elm"



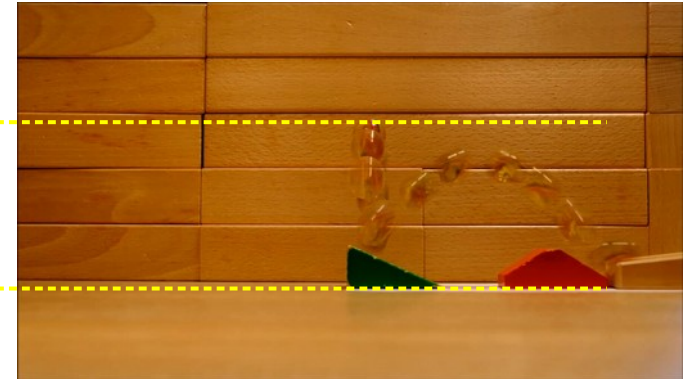
Was ist eine Resonanzwelle? Vorüberlegungen



“Brocken”



“Asse”



“Asse und Elm”

In richtiger Phasenlage und Frequenz
führt eine kleine erzwungene Anregung eines schwingungsfähigen Systems
zu einer deutlichen Erhöhung der Schwingungsamplitude



Resonanzüberhöhung

Simulation Gleichungen

Gleichungen für Erzwungene gedämpfte Schwingungen aus
E. Brommundt: „Mechanik für Elektrotechniker“, TU BS, S. 51.1 ff

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = G + P_0 \cdot \cos(\Omega t)$$

$$\Rightarrow \ddot{x} + \frac{b}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{G}{m} + \frac{P_0}{m} \cdot \cos(\Omega t)$$

$$\Rightarrow x(t) = e^{-\delta t} \cdot (A \cos(\omega_0 t) + B \sin(\omega_0 t)) + \frac{G}{k} + \frac{P_0}{k} \cdot V \cdot \cos(\Omega t - \beta)$$

$$\text{hier (weil } b=0\text{): } \delta=0 ; G=0 ; V = \frac{1}{1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2} ; \omega_0^2 = \frac{k}{m} ; \beta=0 ; \omega = \omega_0$$

$$\text{d.h., } \ddot{x} + \frac{k}{m} \cdot x = \frac{P_0}{m} \cdot \cos(\Omega t)$$

$$\Rightarrow x(t) = A \cos(\omega_0 t) + B \sin(\omega_0 t) + \frac{P_0}{k} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2} \cdot \cos(\Omega t)$$

Schwingungsgleichungen aus **Dieter Etling: „Atmospheric Gravity Waves and Soaring Flights“**, veröffentlicht auf www.schwerewelle.de

$$\ddot{z} + N^2 z = a_2 \cdot \cos(\Omega t)$$

a_2 ist die aufgeprägte Beschleunigung durch den Berg

der Berg habe das Höhenprofil $h(x) = h_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right)$

$$\Rightarrow h(t) = h_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} U t\right) \text{ mit Windgeschw. } U = \frac{x}{t}$$

$$\Rightarrow \dot{h}(t) = w_2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} U t\right) \text{ mit } w_2 = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot U \cdot h_0$$

$$\Rightarrow \ddot{h}(t) = -a_2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} U t\right) \text{ mit } a_2 = \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \cdot U^2 \cdot h_0$$

Koeffizientenvergleich

$$a_2 = \frac{P_0}{m} ; N^2 = \frac{k}{m} = \omega_0^2 ; \frac{P_0}{k} = \frac{a_2}{N^2}$$

$$\Rightarrow z(t) = A \cos(N t) + B \sin(N t) + a_2 \cdot N^{-2} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{\Omega}{N}\right)^2} \cdot \cos(\Omega t)$$

$$\Rightarrow z(t) = A \cos(N t) + B \sin(N t) + \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \cdot \frac{U^2}{N^2} \cdot h_0 \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{\Omega}{N}\right)^2} \cdot \cos(\Omega t)$$

$$\text{mit } U = \frac{x}{t} \Rightarrow t = \frac{x}{U}$$

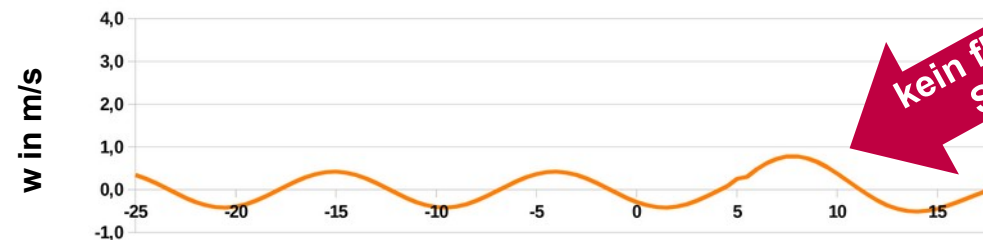
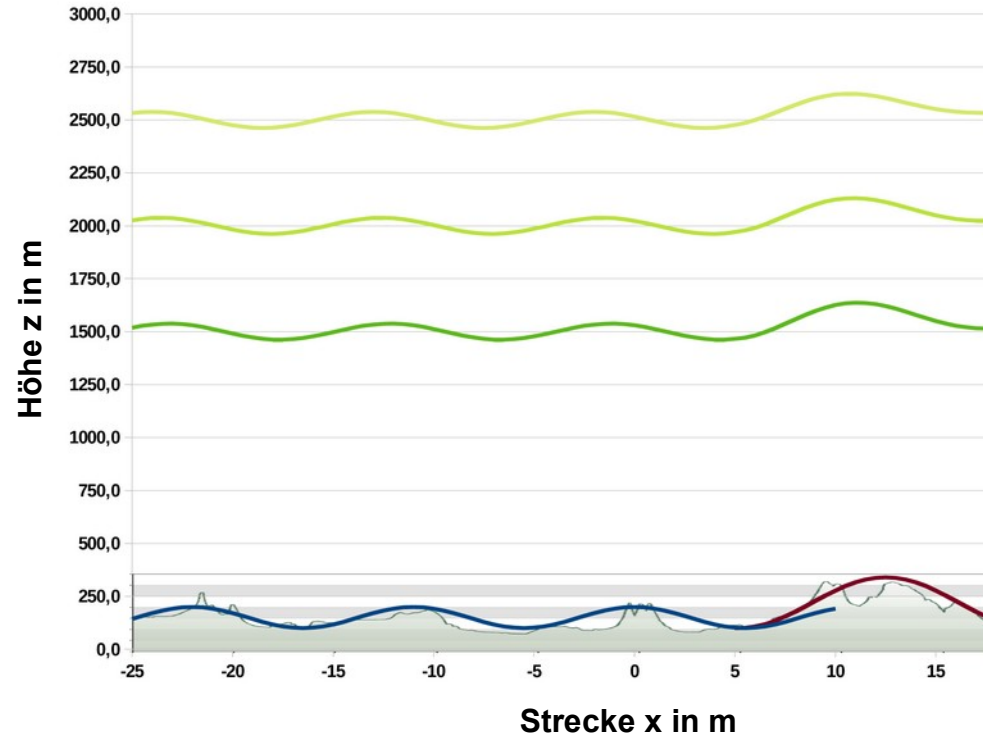
$$\Rightarrow z(t) = A \cos\left(\frac{N}{U} x\right) + B \sin\left(\frac{N}{U} x\right) + \frac{4\pi^2}{\lambda^2} \cdot \frac{U^2}{N^2} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{2\pi U}{\lambda N}\right)^2} \cdot h_0 \cdot \cos(\Omega t)$$

Grundschwingung

Resonanzüberhöhung

Gelände

Simulationsergebnisse Windstärke-Abhängigkeit

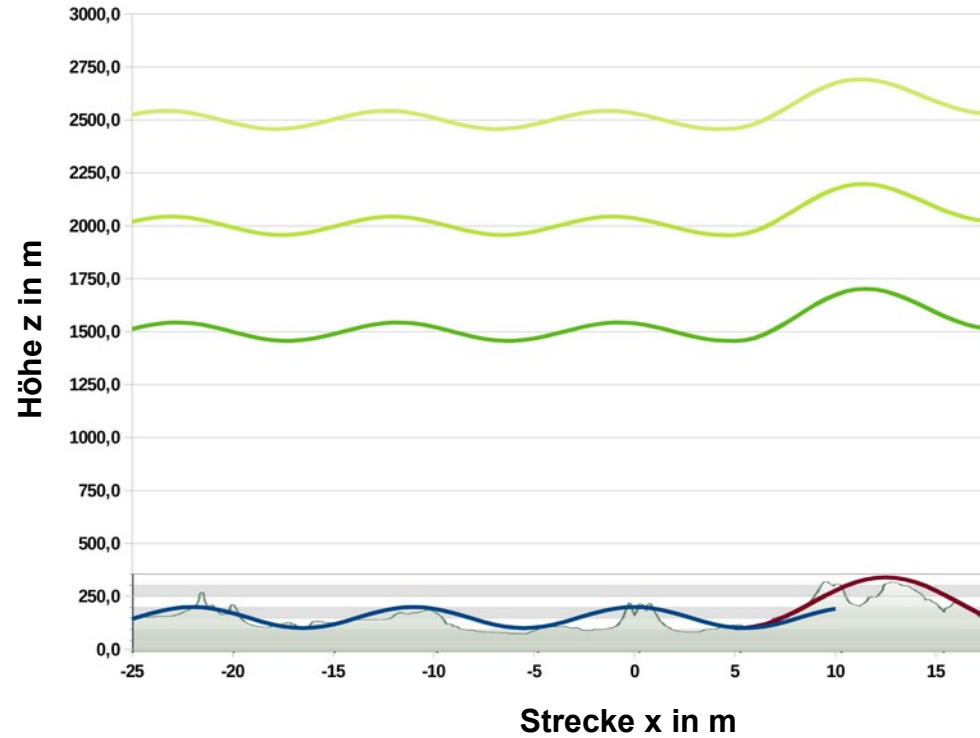


wind speed	U =	70 km/h
wind direction	w =	230 °
mean temp. in 2000 m	ϑ =	10,8 °C
Brunt-Väisälä frequency	N =	0,0146 /s
Scorer length	Ls =	8.368 m

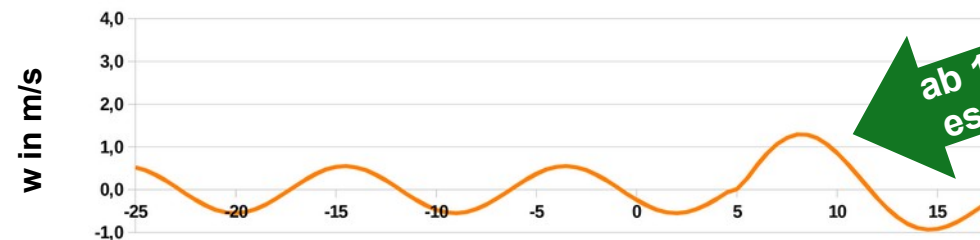
kein fliegbares
Steigen

Simulationsergebnisse

Windstärke-Abhängigkeit



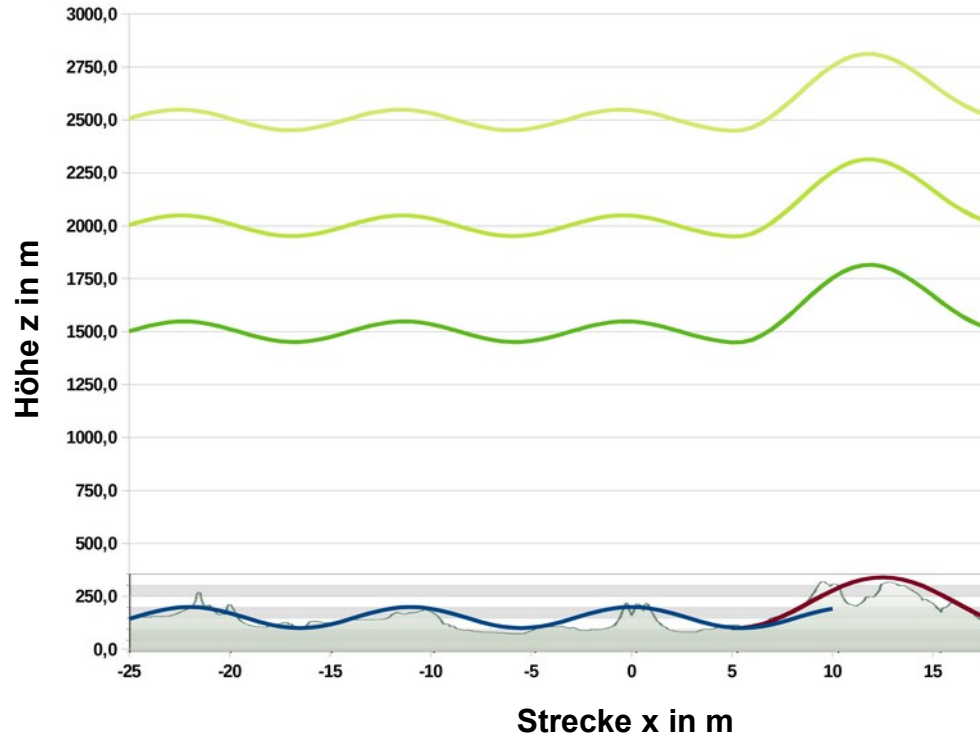
wind speed	U =	80 km/h
wind direction	w =	230 °
mean temp. in 2000 m	ϑ =	10,8 °C
Brunt-Väisälä frequency	N =	0,0146 /s
Scorer length	Ls =	9.563 m



ab 1m/s kann es losgehen

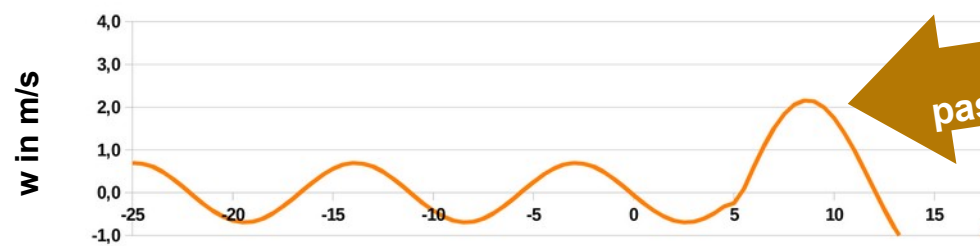
Simulationsergebnisse

Windstärke-Abhängigkeit



wind speed $U = 90 \text{ km/h}$
 wind direction $w = 230^\circ$
 mean temp. in 2000 m $\vartheta = 10,8^\circ\text{C}$
 Brunt-Väisälä frequency $N = 0,0146 \text{ /s}$
 Scorer length $L_s = 10.759 \text{ m}$

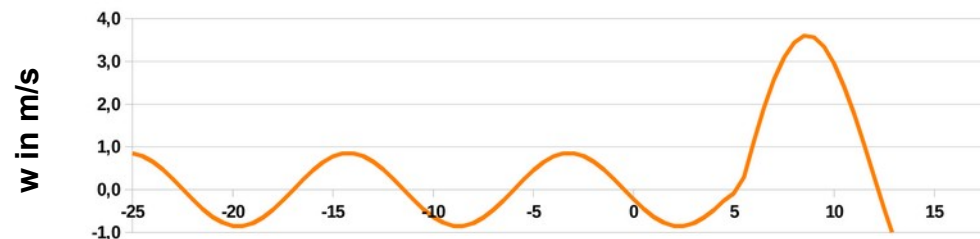
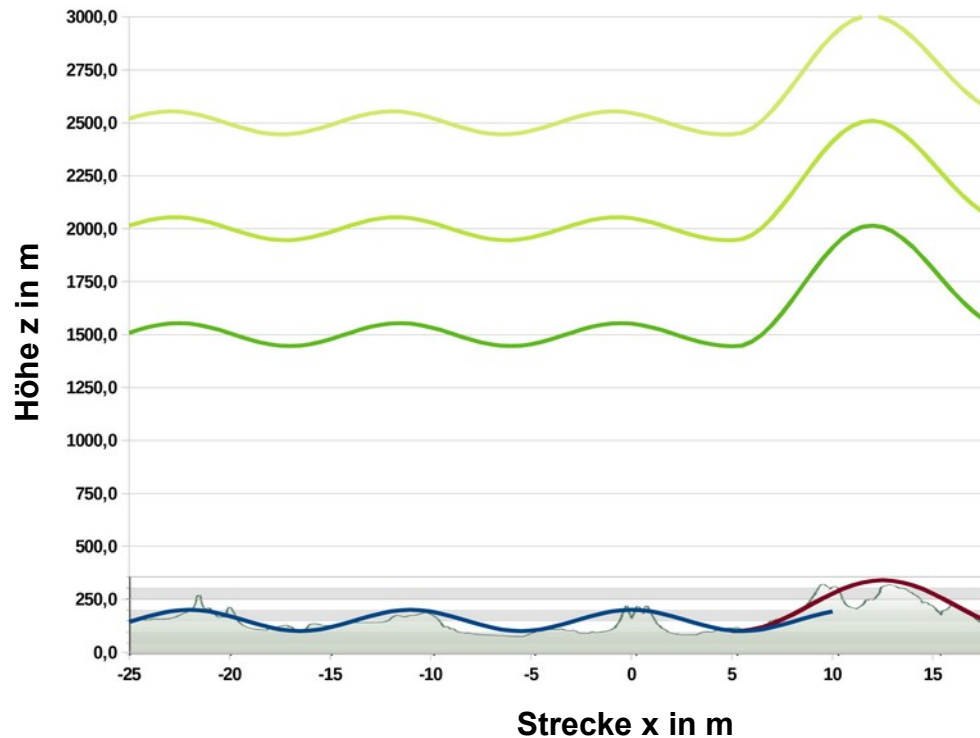
Wetter am Flugtag



Steigwerte passen zum Flug

Simulationsergebnisse

Windstärke-Abhängigkeit



wind speed **U = 100 km/h**

wind direction $w = 230^\circ$

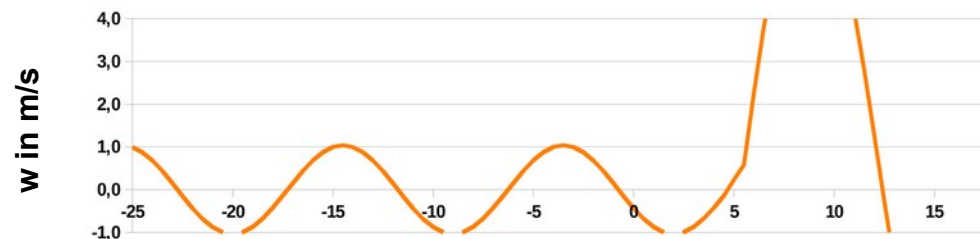
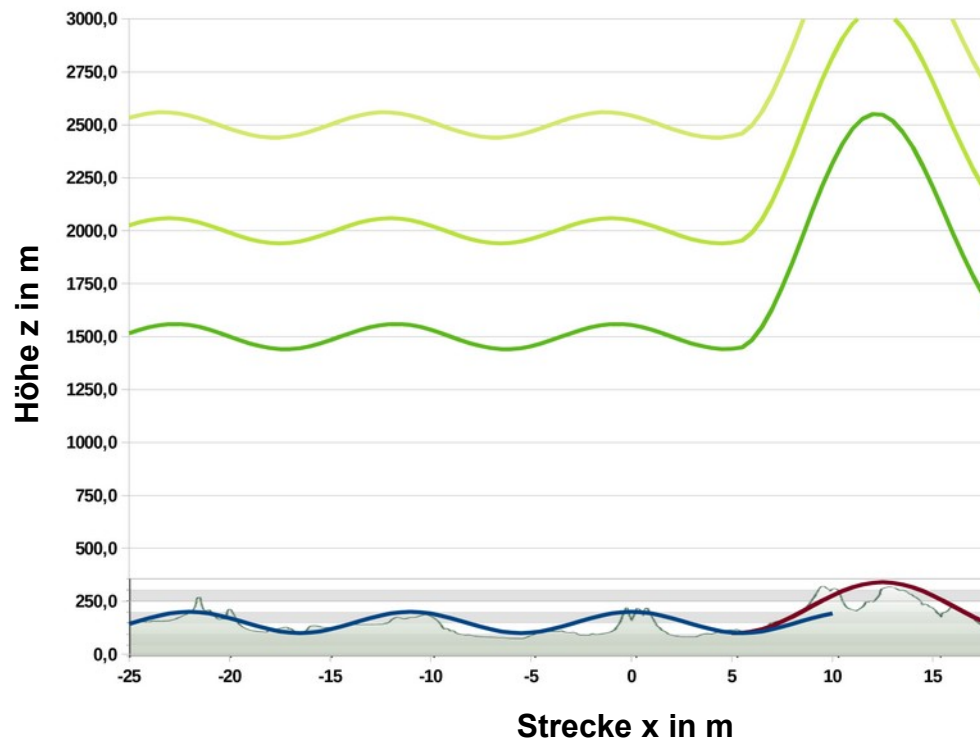
mean temp. in 2000 m $\vartheta = 10,8^\circ\text{C}$

Brunt-Väisälä frequency $N = 0,0146 /s$

Scorer length $L_s = 11.954 \text{ m}$

Simulationsergebnisse

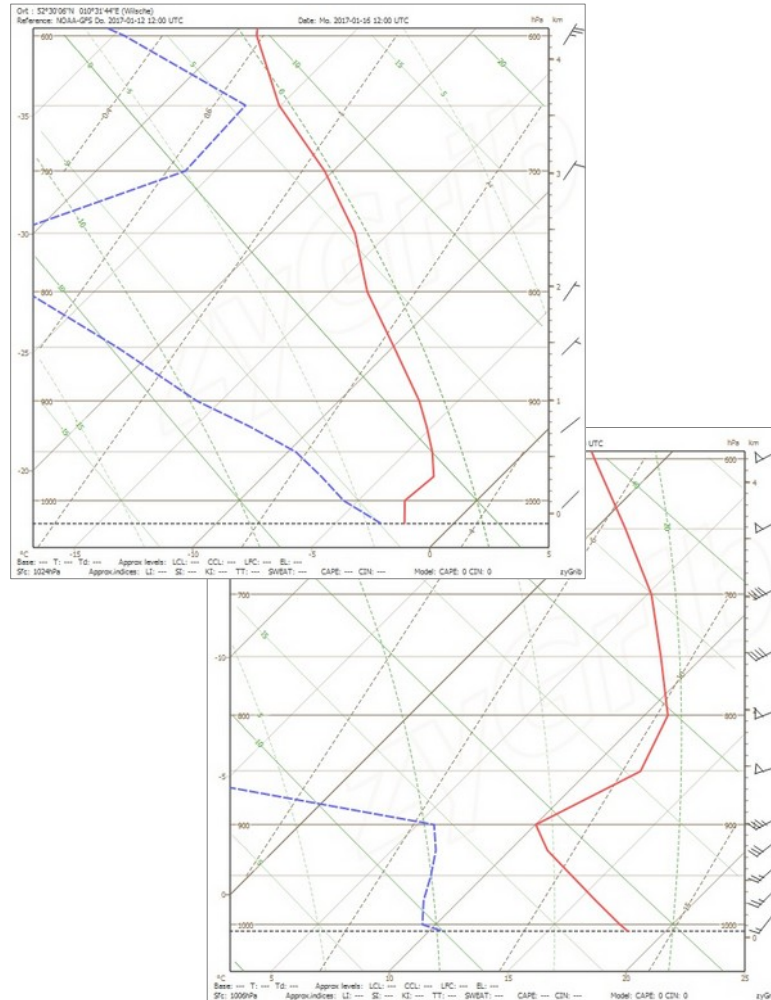
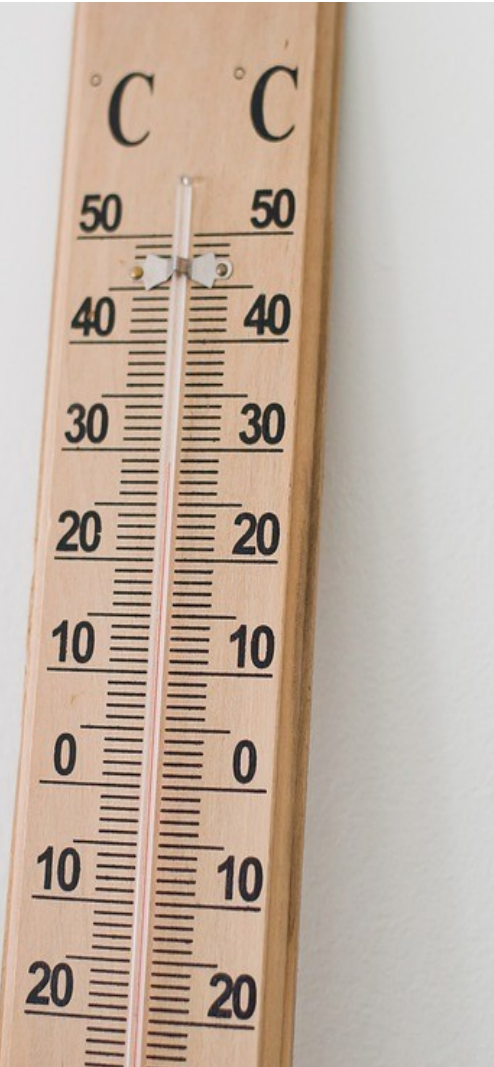
Windstärke-Abhängigkeit



wind speed	U =	110 km/h
wind direction	w =	230 °
mean temp. in 2000 m	ϑ =	10,8 °C
Brunt-Väisälä frequency	N =	0,0146 /s
Scorer length	Ls =	13.150 m

Simulationsergebnisse

Temperatur-Abhängigkeit



Vereinfachte Betrachtung:

Oberhalb der Inversion folgt die Temperatur annähernd der Feuchtadiabaten.

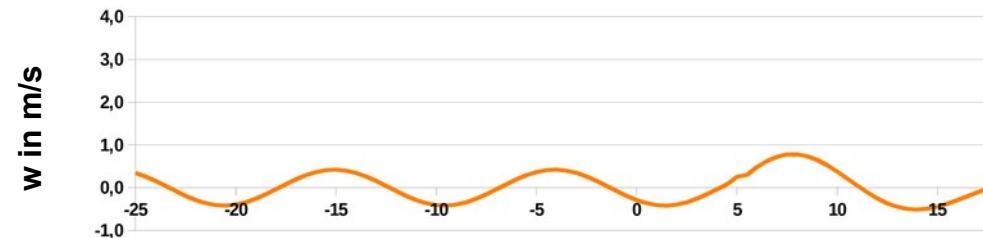
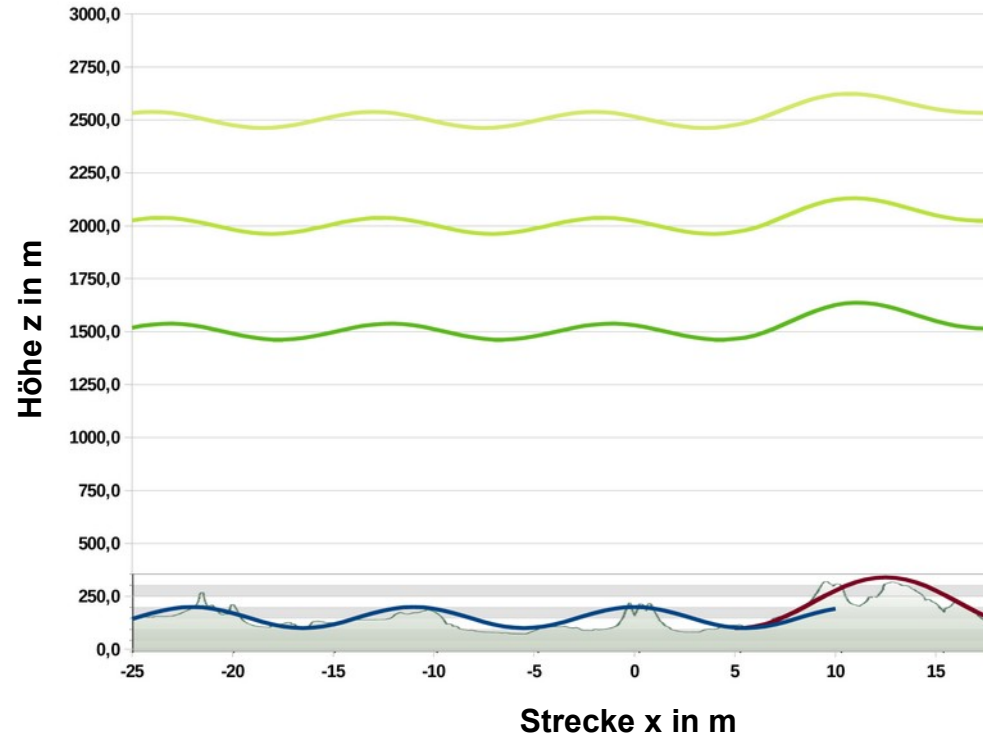
Temperatur in 2000 m Höhe	dT / dz
10 °C	$-5,0 \cdot 10^{-3}$
0 °C	$-6,2 \cdot 10^{-3}$
-10 °C	$-6,8 \cdot 10^{-3}$
-20 °C	$-8,0 \cdot 10^{-3}$



Brunt-Väisälä-Frequenz
$$N = \sqrt{\frac{g}{T} \left(\frac{dT}{dz} + \Gamma \right)}$$

Simulationsergebnisse

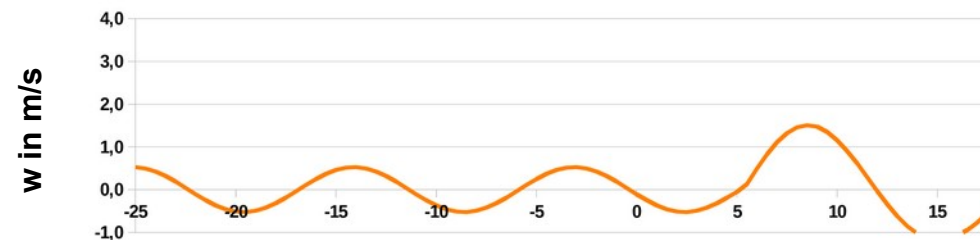
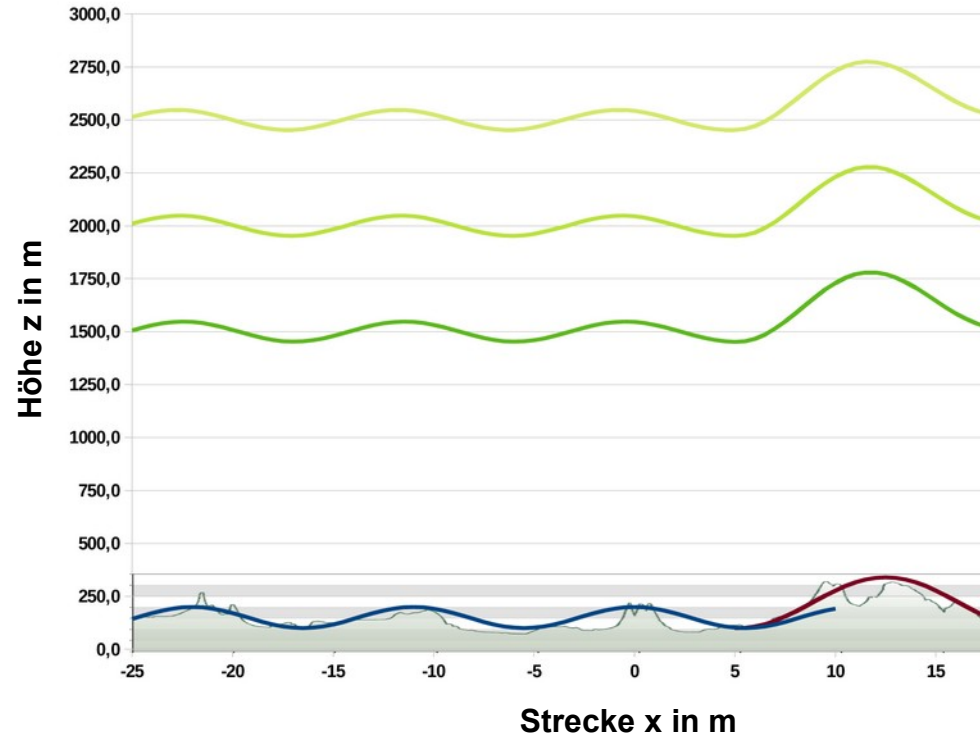
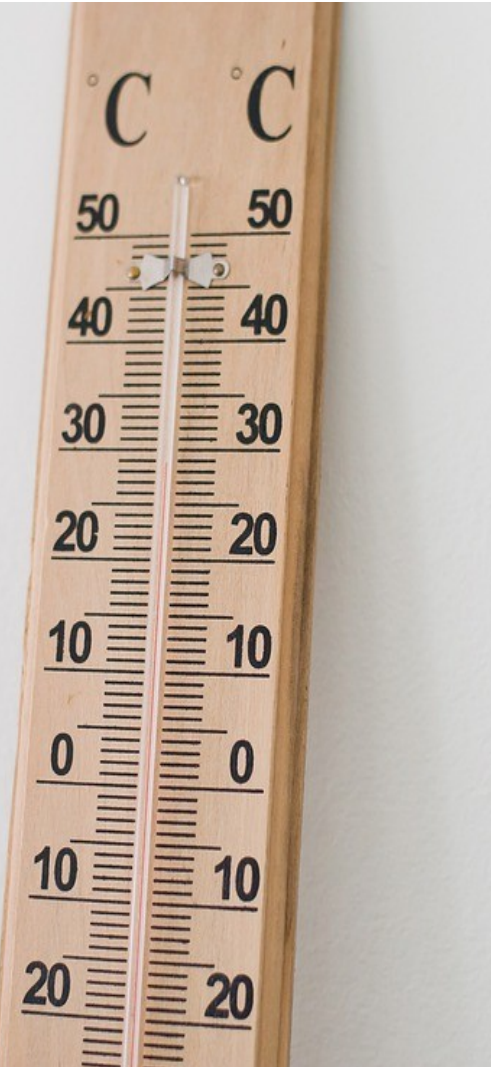
Temperatur-Abhängigkeit



wind speed $U = 70$ km/h
wind direction $w = 230^\circ$
mean temp. in 2000 m $\vartheta = 10,8^\circ\text{C}$
Brunt-Väisälä frequency $N = 0,0146$ /s
Scorer length $L_s = 8.368$ m

Simulationsergebnisse

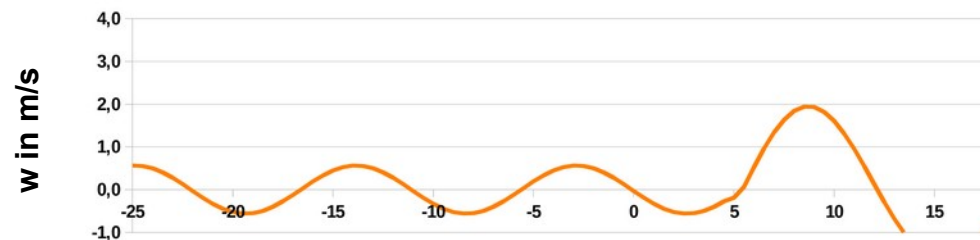
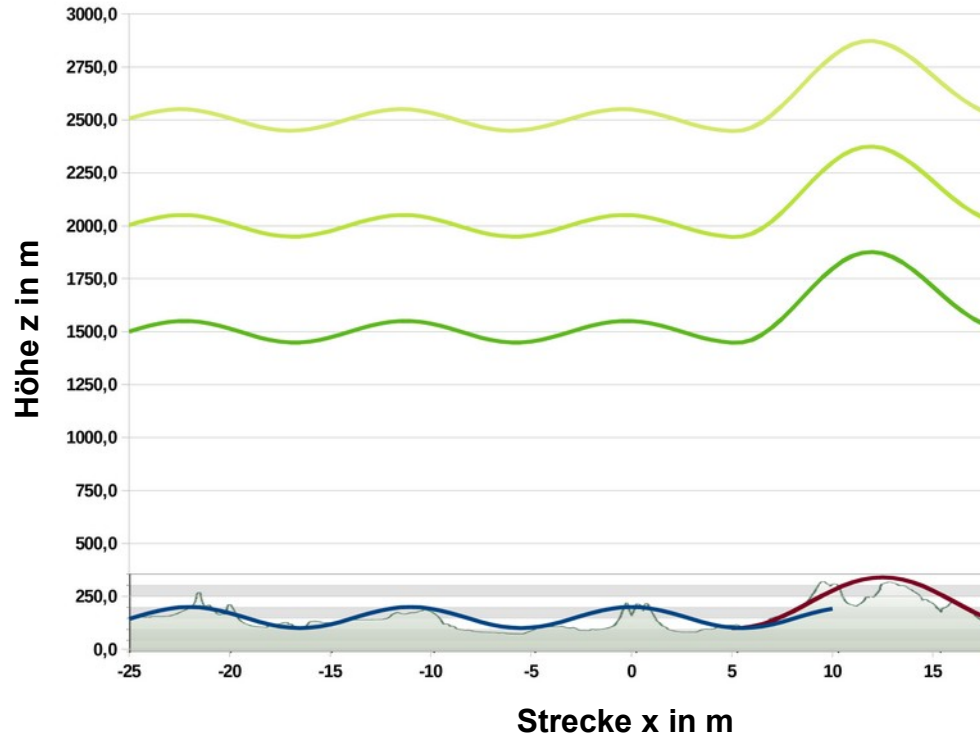
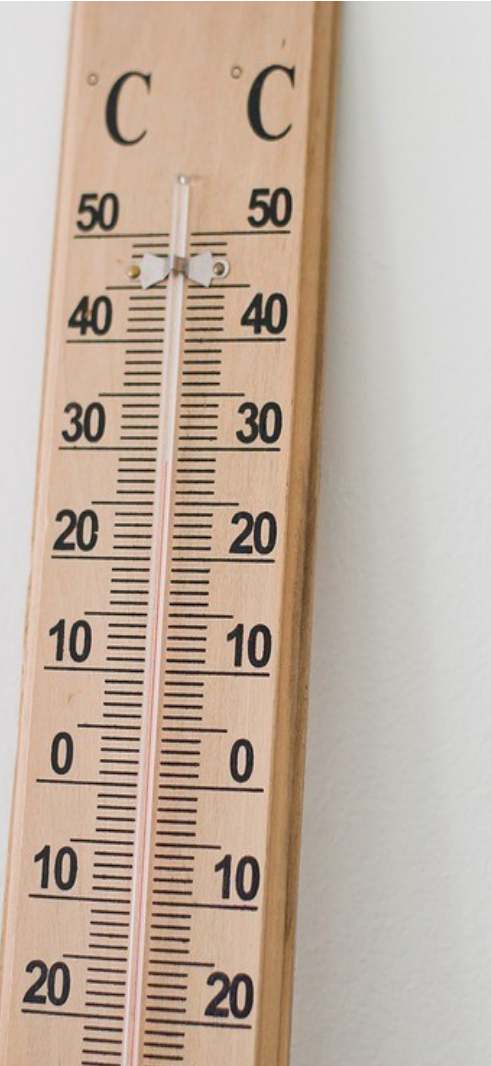
Temperatur-Abhängigkeit



wind speed $U = 70$ km/h
wind direction $w = 230^\circ$
mean temp. in 2000 m $\vartheta = 0^\circ\text{C}$
Brunt-Väisälä frequency $N = 0,0117$ /s
Scorer length $L_s = 10.442$ m

Simulationsergebnisse

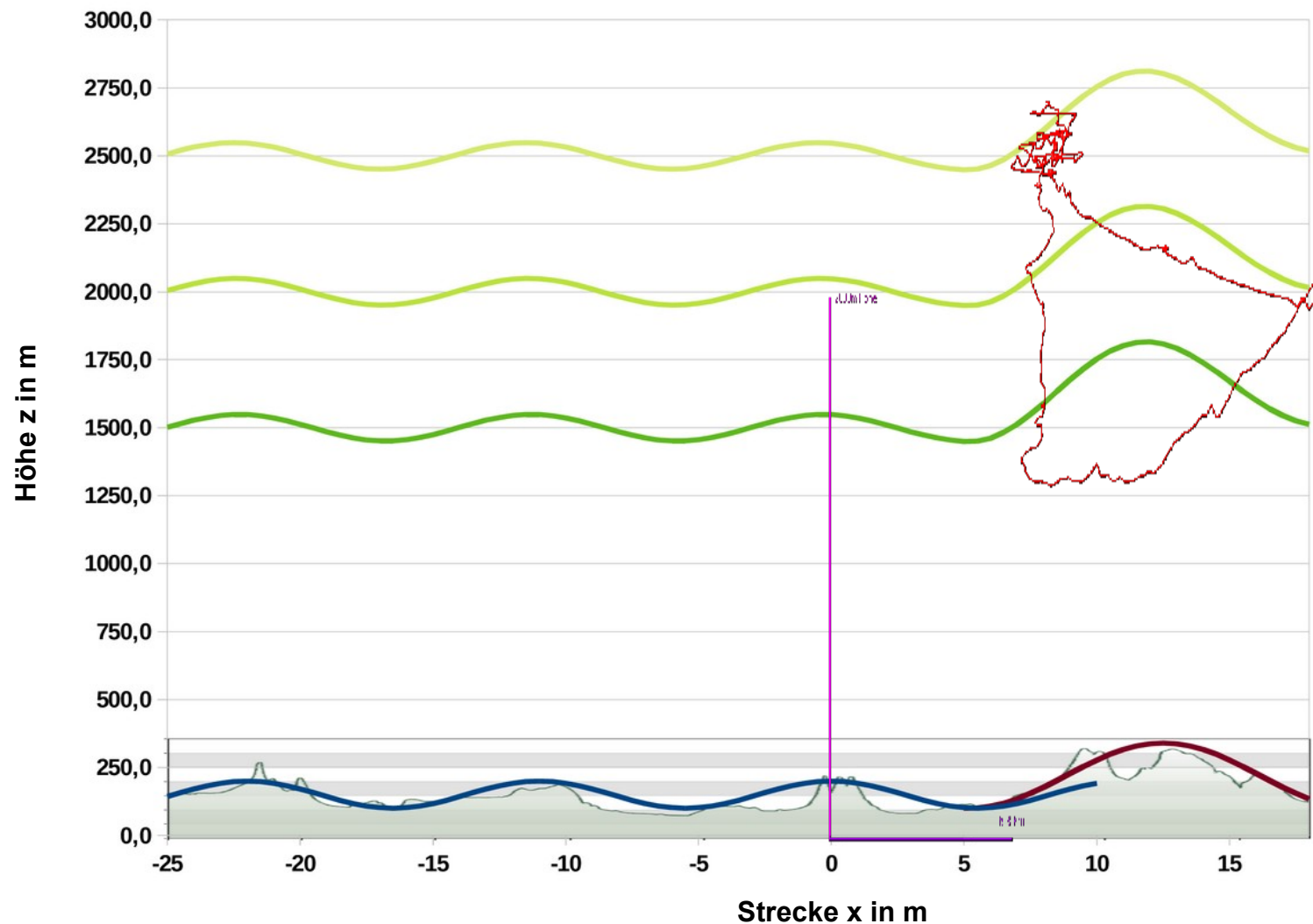
Temperatur-Abhängigkeit



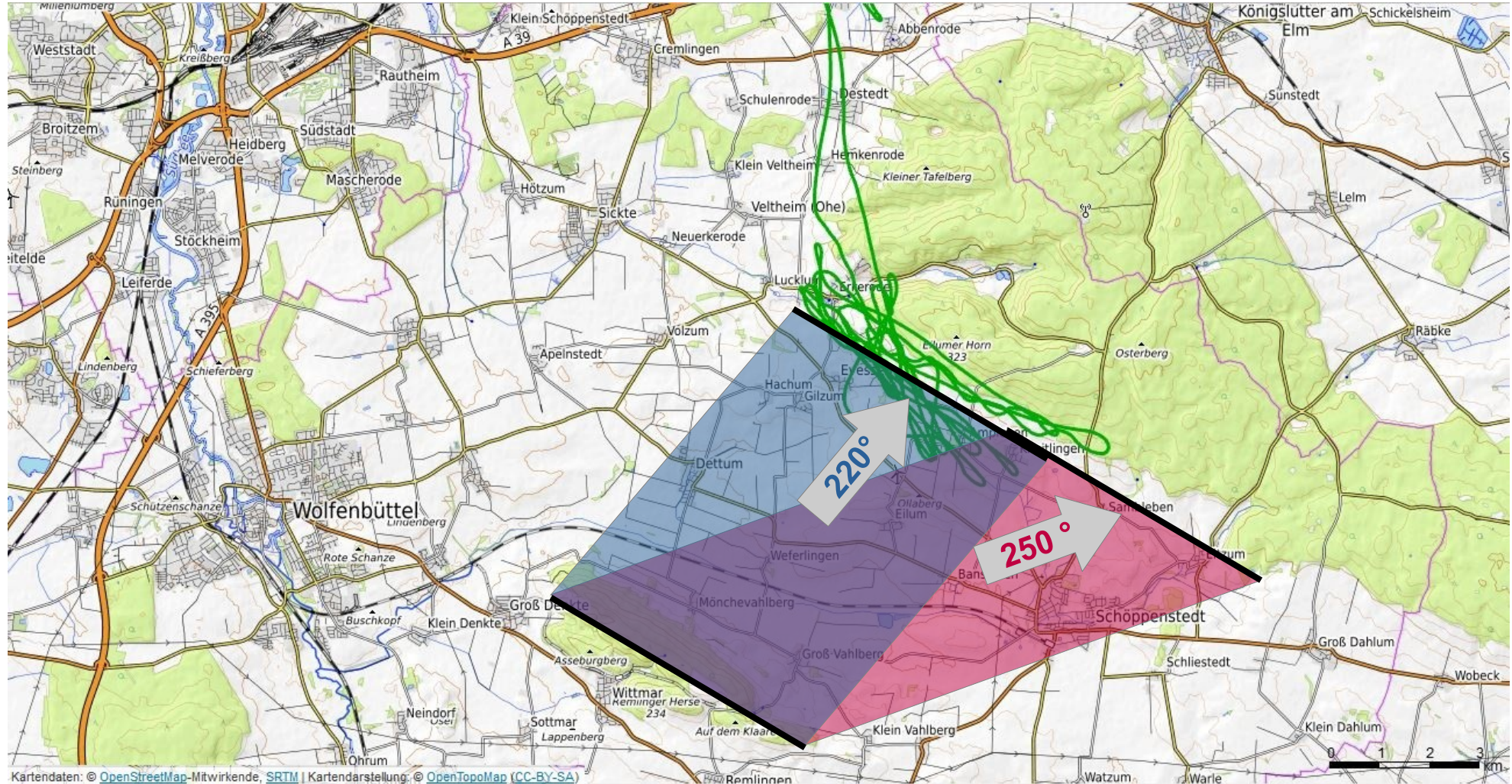
wind speed $U = 70$ km/h
wind direction $w = 230^\circ$
mean temp. in 2000 m $\vartheta = -10^\circ\text{C}$
Brunt-Väisälä frequency $N = 0,0109$ /s
Scorer length $L_s = 11.209$ m

Simulationsergebnisse

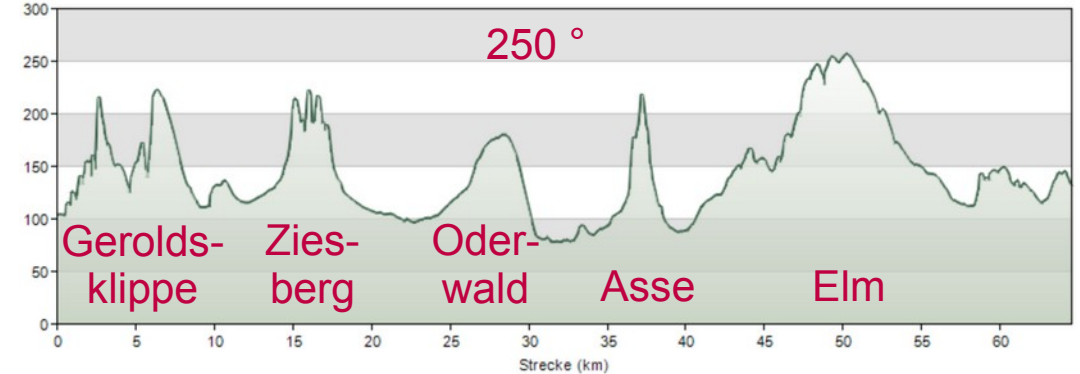
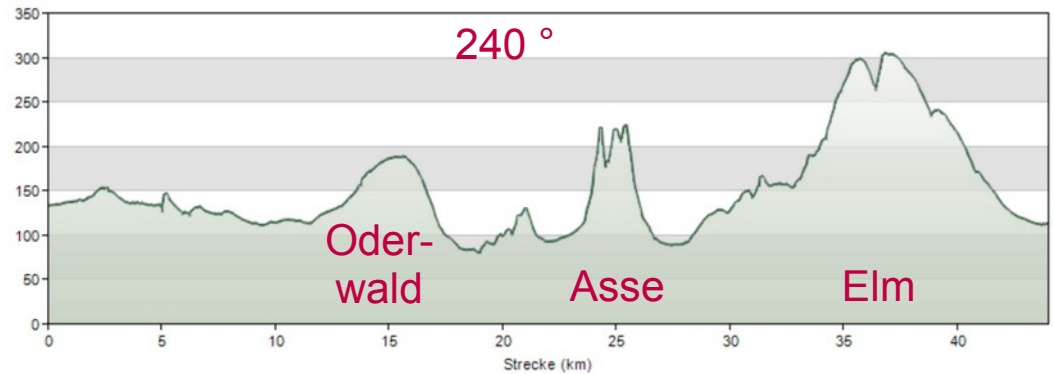
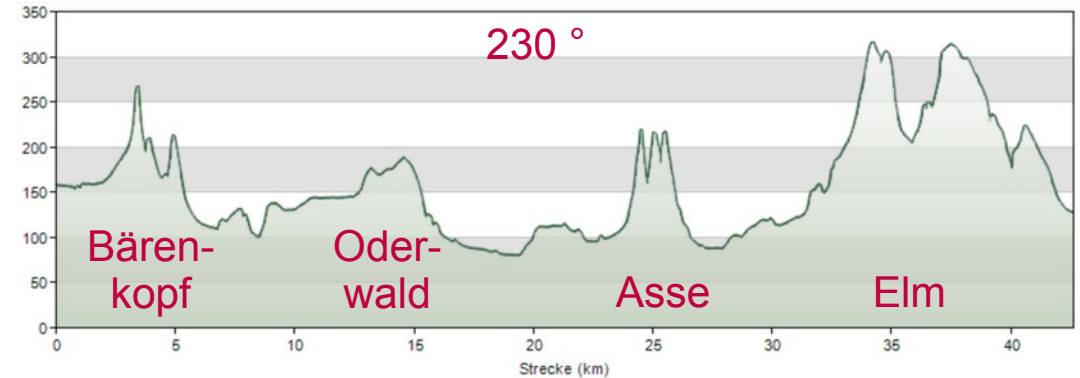
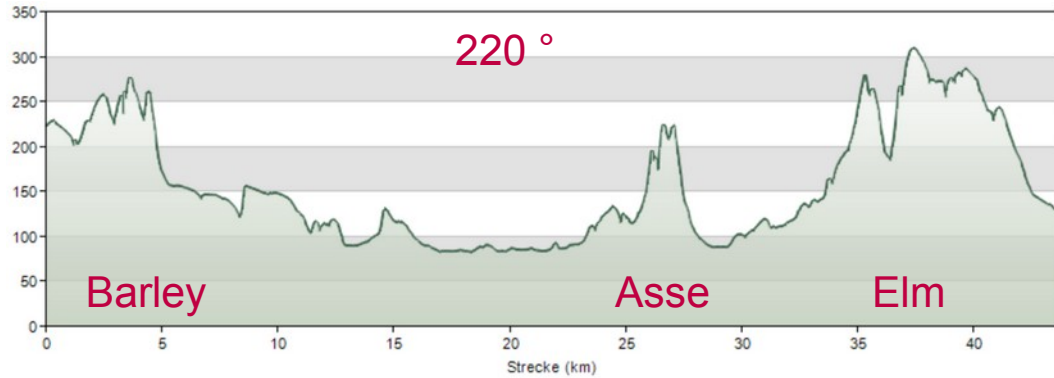
Vergleich mit dem Flugweg am 26.10.2019



Nutzbare Windrichtungen



Vergleichbare Berechnungen für andere Windrichtungen



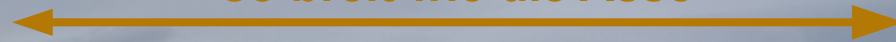
Wolkenbild an einem Sturmtag 16.02.2020



Wolkenbild an einem Sturmtag 16.02.2020



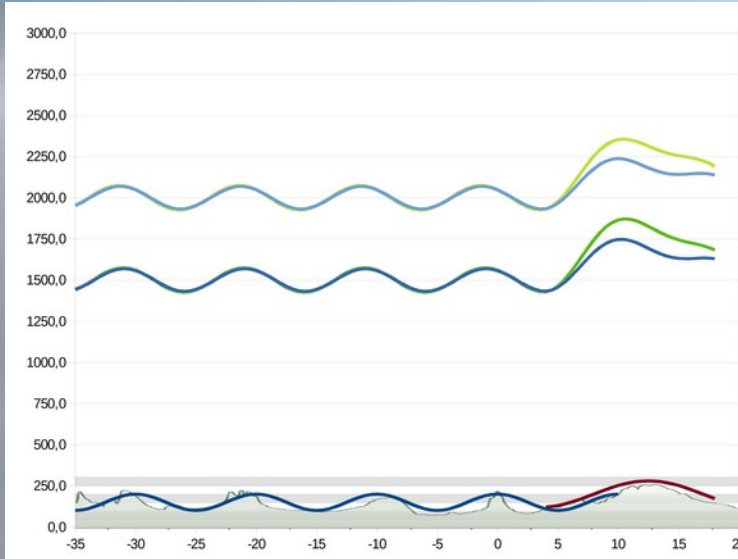
**“Stehende” Wolke,
so breit wie die Asse**



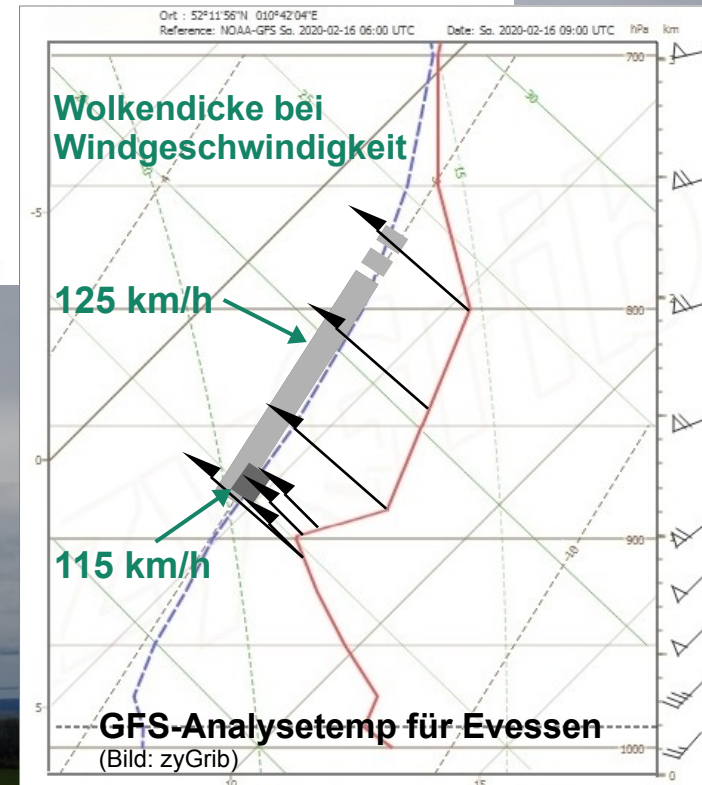
Wolkenbild an einem Sturmtag 16.02.2020

Kurzzeitig ein Lenti !

1800 m
1100 m
300 m



wind speed	U = 115 km/h
	U = 125 km/h
wind direction	w = 250 °
mean temp. in 1500 m	θ = 7 °C
Brunt-Väisälä frequency	N = 0,0145 /s
Scorer length	Ls = 15.046 m



Zusammenfassung

Prognose für ein geeignetes Wetterfenster



Foto: pixabay.com

Asse-Elm-Welle

Wetterbedingungen:

- Ausgeprägte Inversion unterhalb von ca. 1.500 m Höhe.
- Nur geringe Änderung der Windrichtung mit der Höhe.
- Mindest-Windstärke abhängig von Windrichtung und Lufttemperatur (siehe Tabelle).

Mindest-Windgeschwindigkeit in 2.000 m Höhe

Lufttemperatur in 2.000 m Höhe	Windrichtung			
	220°	230°	240°	250°
10 °C	70 km/h	80 km/h	80 km/h	95 km/h
0 °C	65 km/h	70 km/h	70 km/h	90 km/h
-10 °C	60 km/h	60 km/h	60 km/h	75 km/h
-20 °C	55 km/h	60 km/h	60 km/h	70 km/h



Kontakt: [Predelli \[at\] online.de](mailto:Predelli@online.de)