Schneller Segeln mit dem Wind

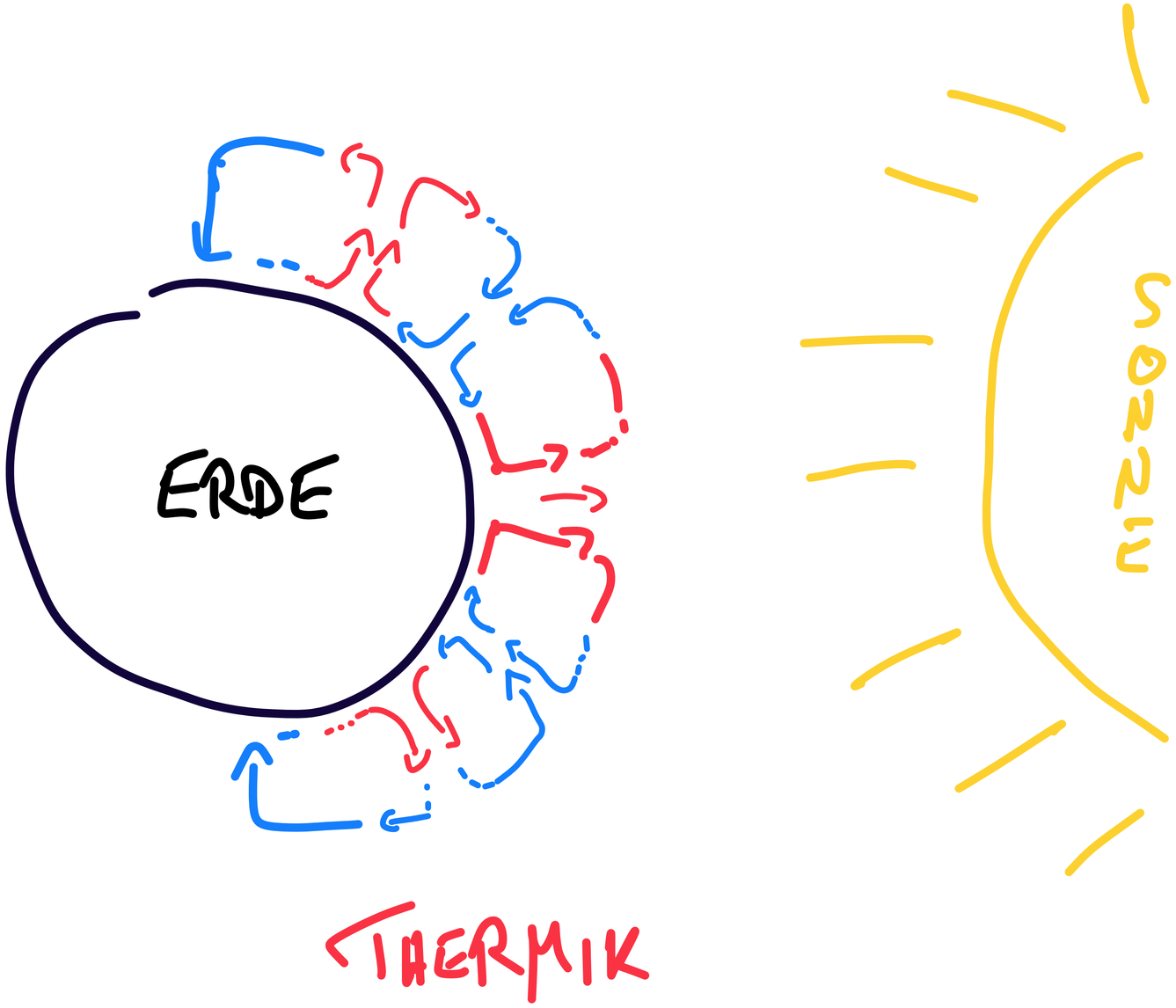
Windsysteme erkennen und verstehen

Michael Korsmeier
11 April 2021

Quelle: High Performance Sailing
Frank Bethwaite
Pub: Adlard Coles Nautical - 2010
(2. edition)

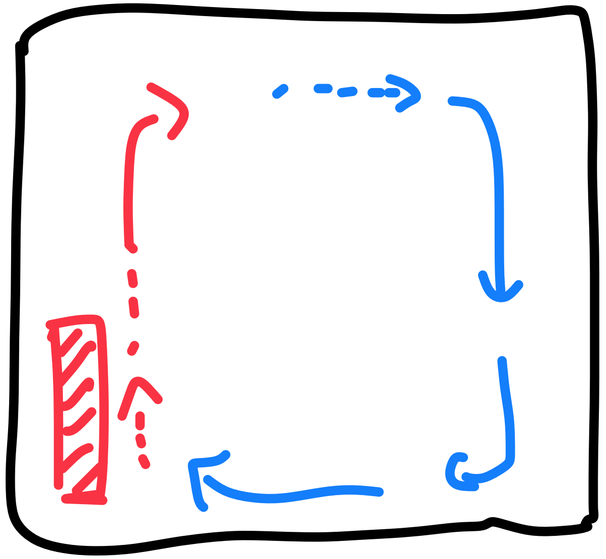
Der Ursprung

Was sind die treibenden Kräfte?



Thermik

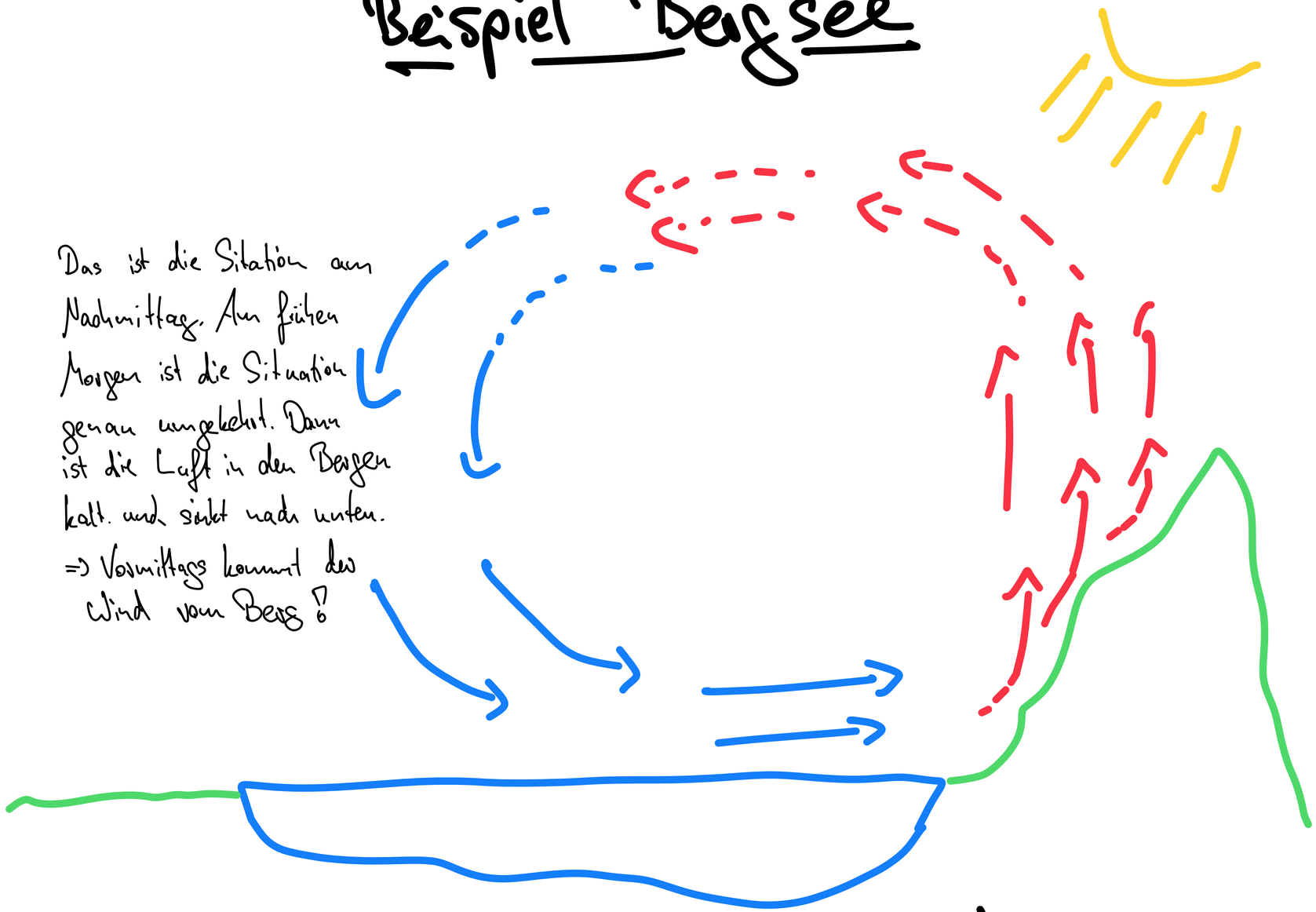
Warme Luft steigt auf, kalte Luft sinkt nach unten!



Heizung

Beispiel Bergsee

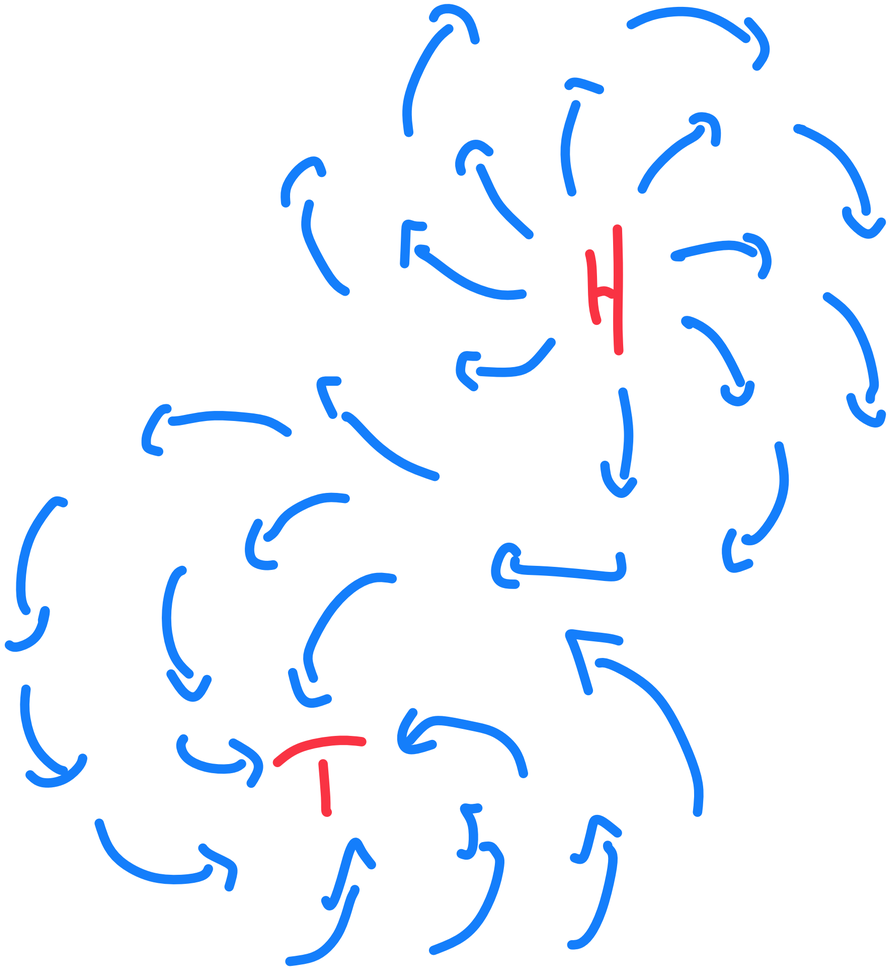
Das ist die Sitation am Nachmittag. Am frühen Morgen ist die Situation genau umgekehrt. Dann ist die Luft in den Bergen kalt und sinkt nach unten.
=> Vormittags kommt der Wind vom Berg!



=> starker gleichmäßiger Wind

Scheinkräfte

Warum *drehen* sich Hoch- und Tiefdruck Gebiete?



$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Kraft — Masse — Beschleunigung

Wenn keine Kraft auf einen Körper (oder Luftmasse) ausgeübt wird, bewegt sich der Körper gleichmäßig weiter.

Aber die Erde rotiert:

Hier gelten "andere" Gesetze!

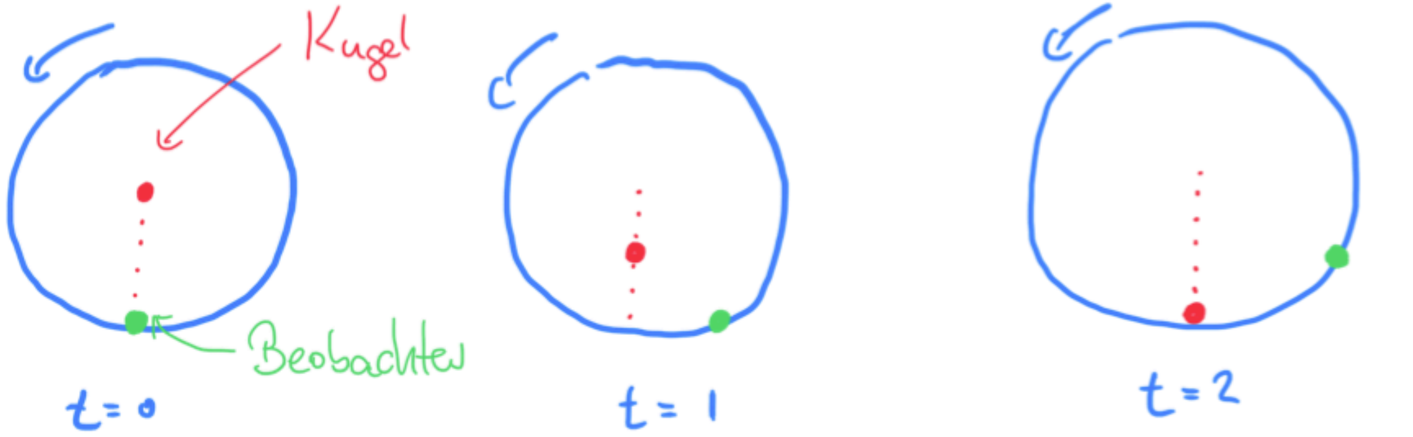
$$\vec{F} = m\left(\vec{a} - \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) - 2\vec{\omega} \times \dot{\vec{r}}\right)$$

Zentrifugalkraft — Coriuskraft

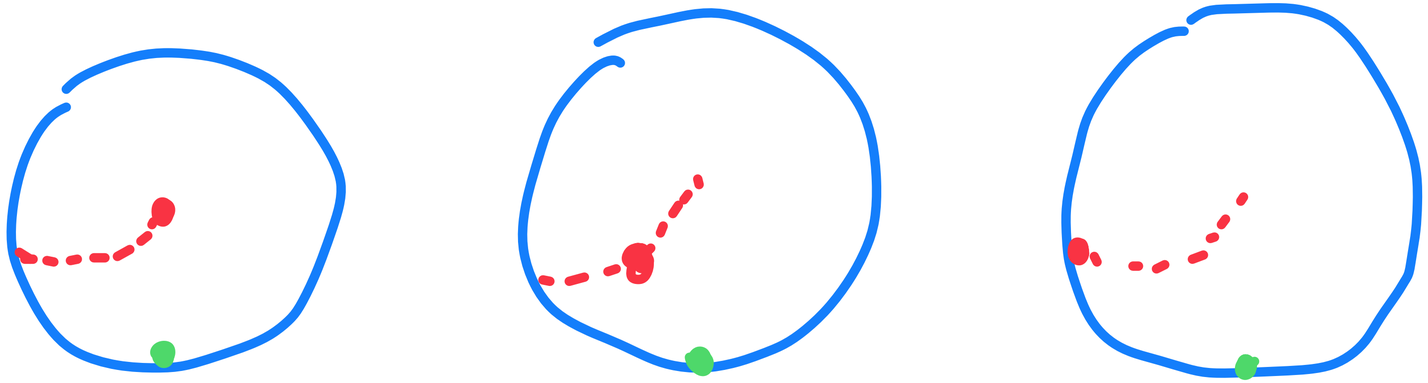
Corioliskraft

Bewegte Körper werden *scheinbar* zur Seite abgelenkt.

Wir betrachten eine sich drehende Scheibe und stellen uns vor, dass jemand in der Mitte eine Pistole abfeuert.



Auf der Nordhalbkugel werden Winde nach rechts abgelenkt!



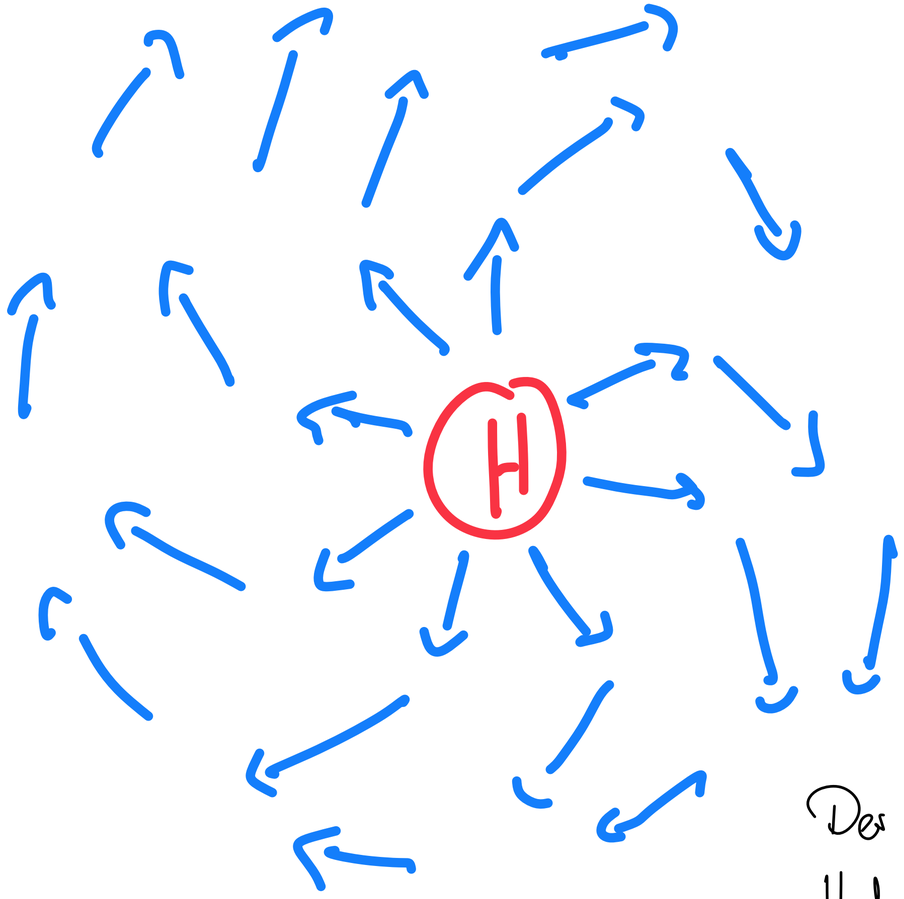
Hoch und Tief

Die großen Windsysteme

Am Nordpol:

- kalte Luft
  → Hochdruck

im Uhrzeigersinn!



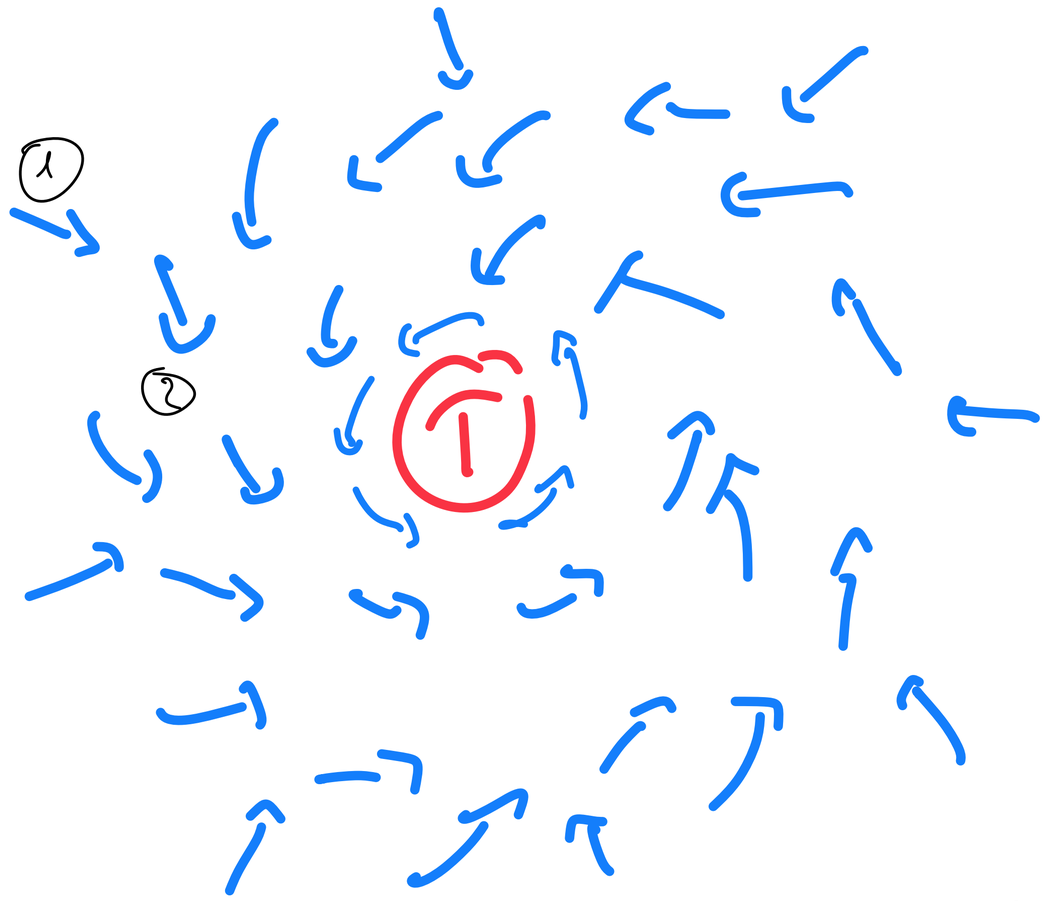
Der Wind weht vom Hochdruckgebiet weg und wird dann nach rechts abgelenkt!

Hoch und Tief

Die großen Windsysteme

Nordhalbkugel:
Tiefdruckgebiet

gegen den
Uhrzeigersinn

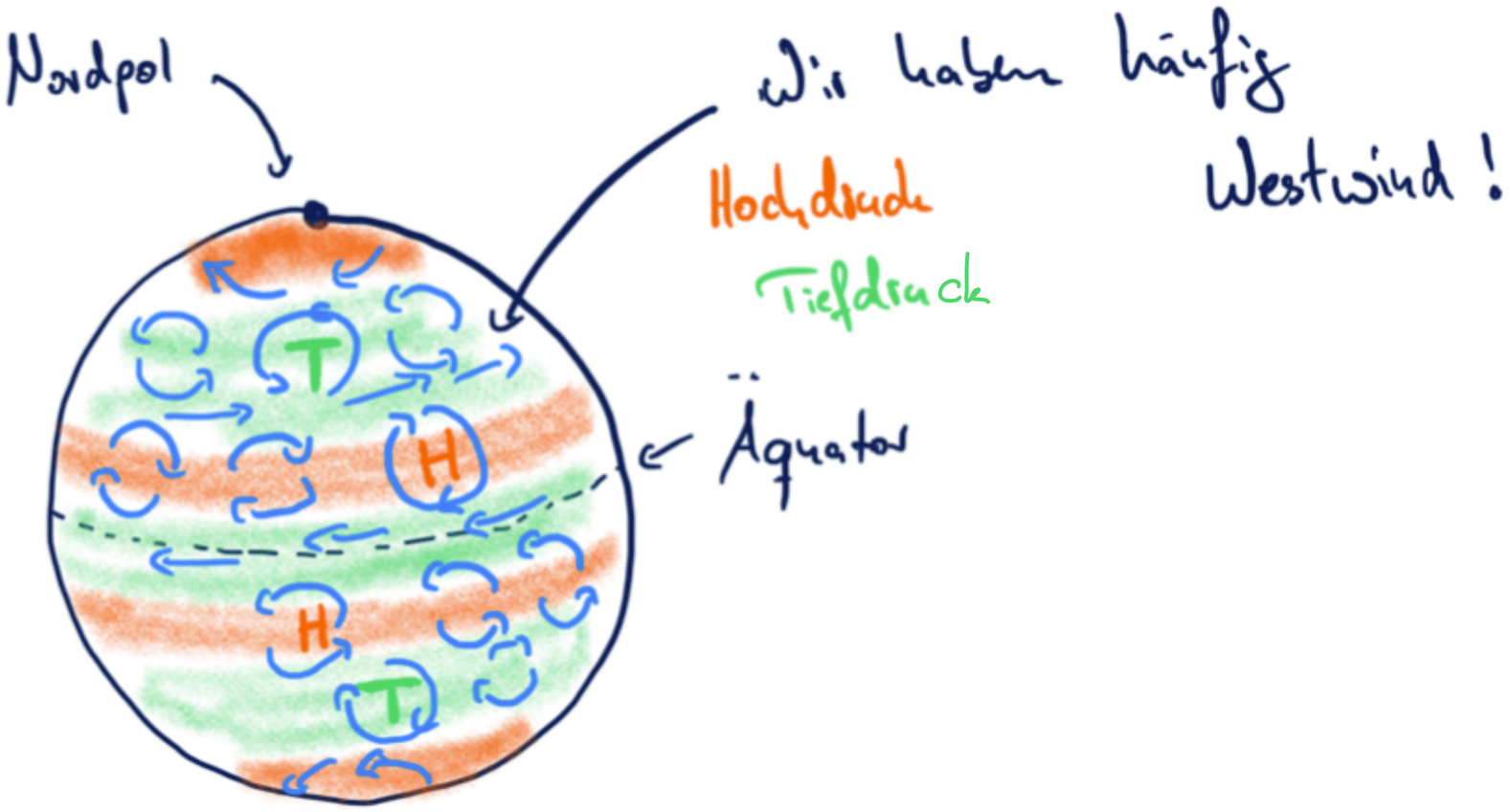


① Der Wind wird von außen zum Tiefdruck-gebiet hingezogen.

② Der Wind wird nach rechts abgelenkt

Hoch und Tief

Die großen Windsysteme



Schaut doch mal auf einer aktuellen Wetterkarte ob ihr die Strukturen wiederfindet?

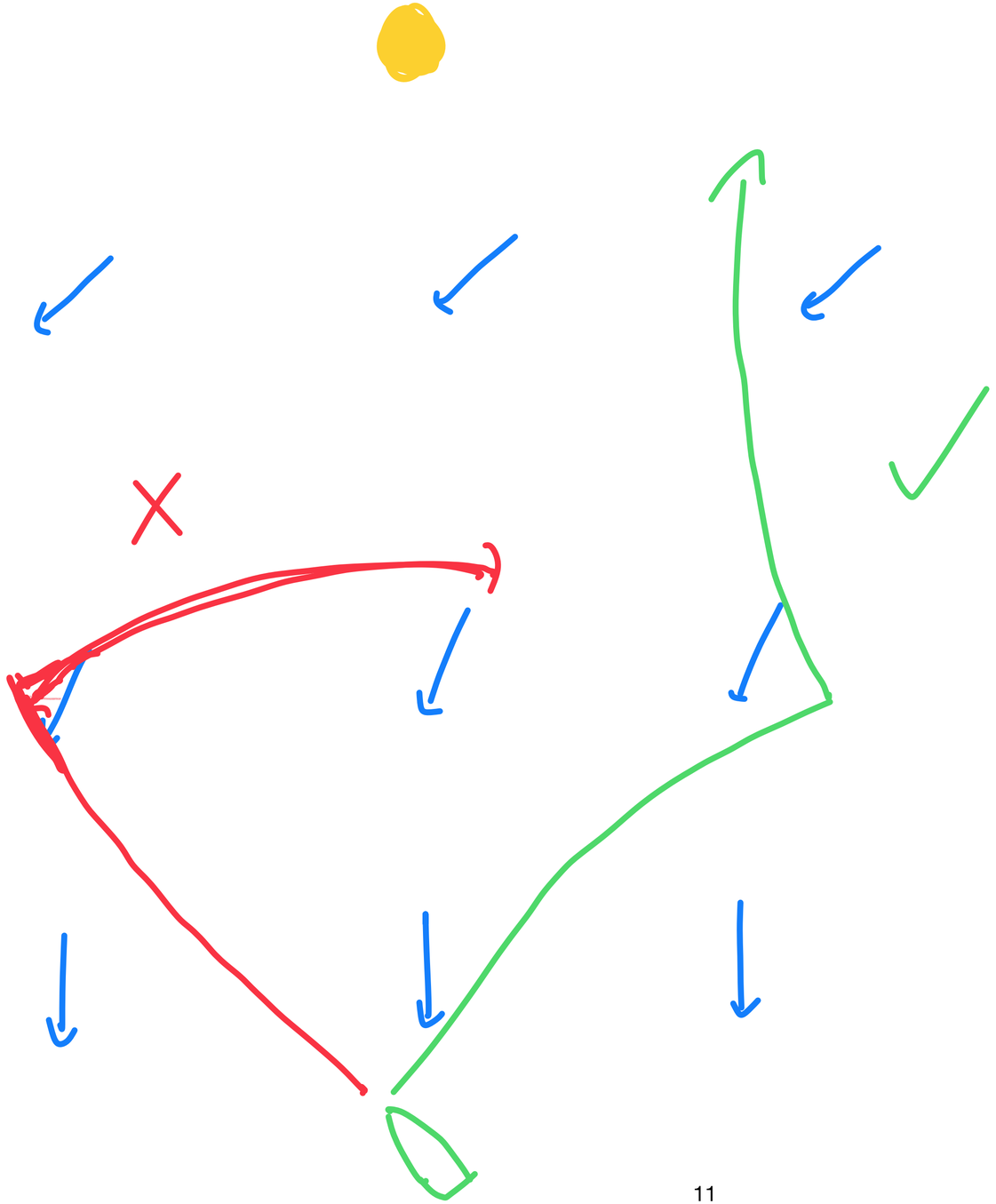
Praxistip

Vor jeder Regatta schaut man in den Wetterbericht. Kommt ein neues Wettersystem? Ändert sich die Grundwindrichtung im Laufe des Tages? Gibt es dadurch eine bevorzugte Seite auf der Kreuz?

Aufgabenteil 1:

Welche Seite ist auf der Kreuz ist bevorzugt, wenn der Wind nach im Laufe des Tages langsam nach rechts dreht?

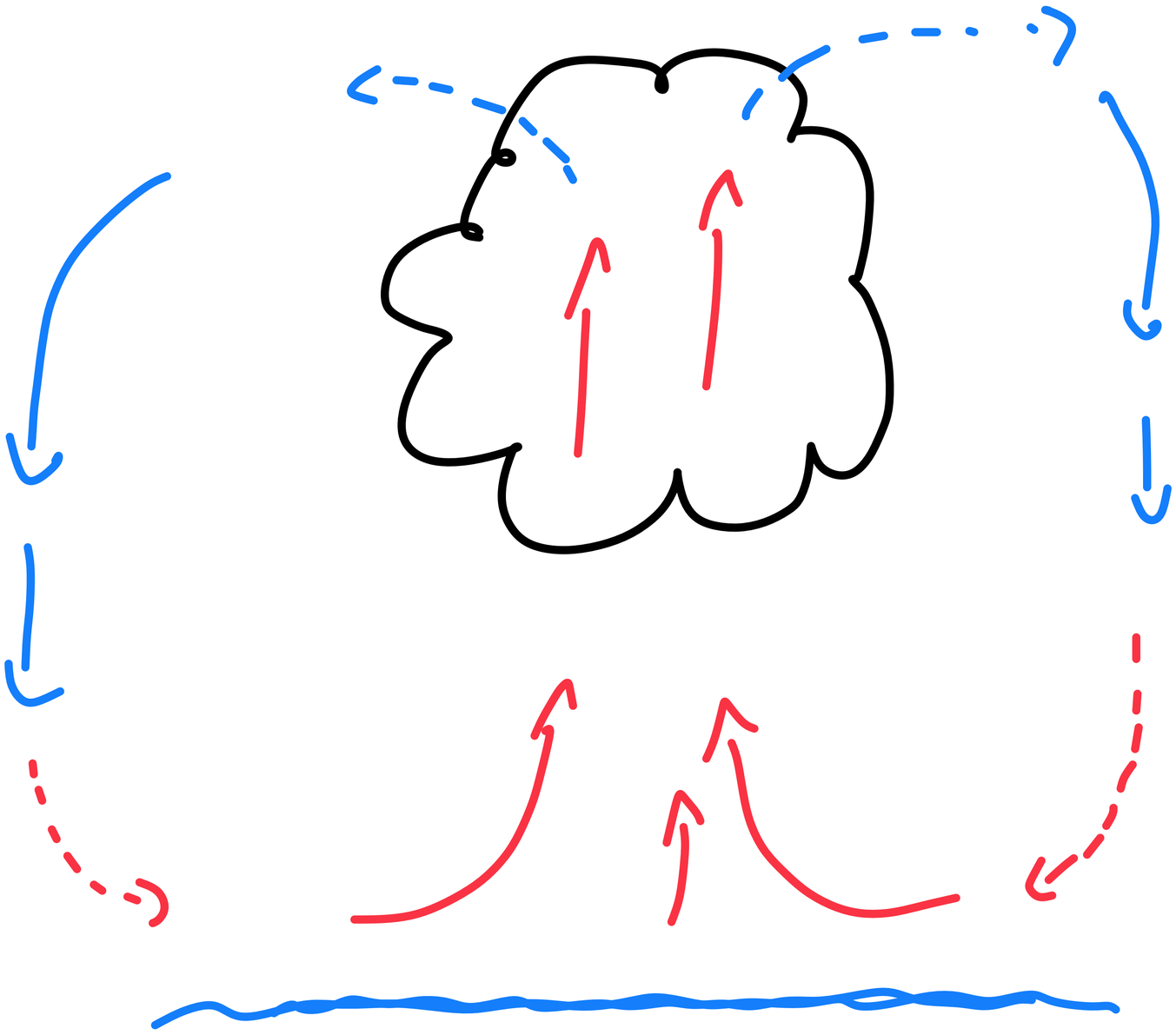
Angenommen heute Nachmittag findet eine Regatta am Dümmer statt. Start des ersten Lauf ist um 14:00 Uhr. Dreht der Wind? Gibt es eine bevorzugte Seite?



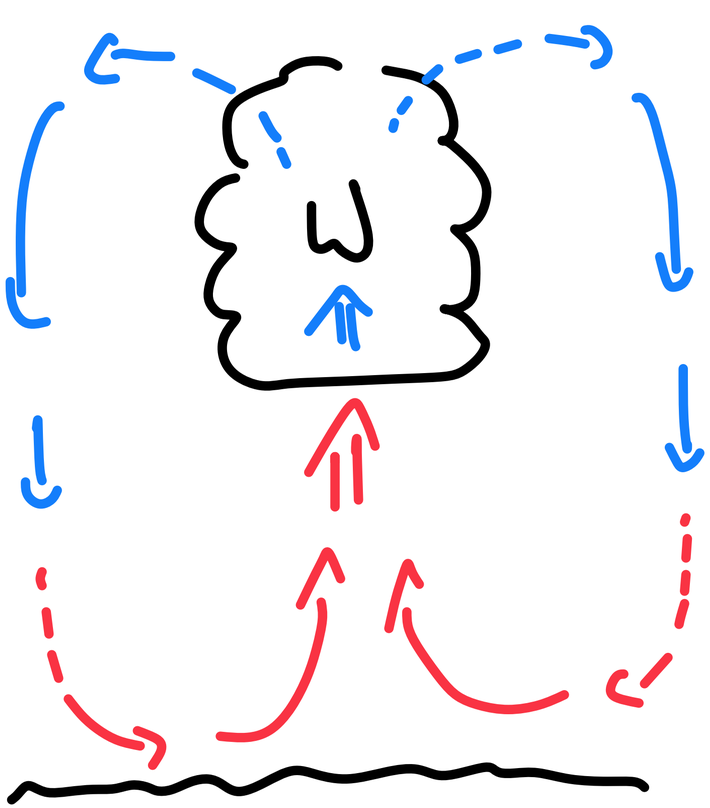
Ich fahre zunächst
in die Richtung in
die der Wind dreht.

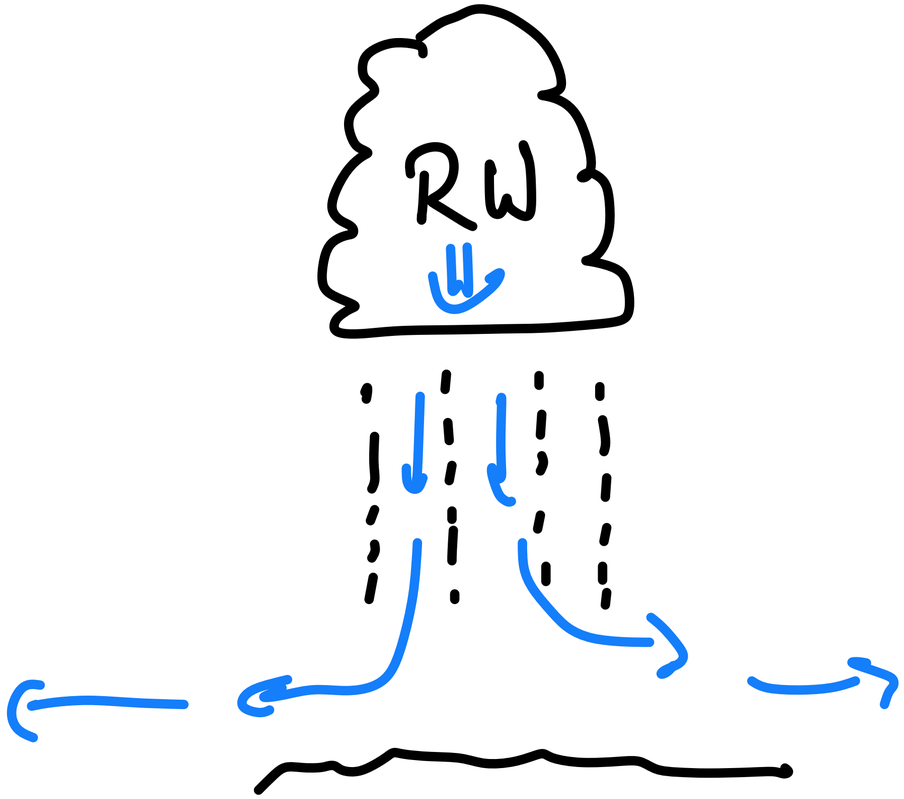
Wind und Wolken

Wie ändert sich der Wind in der Nähe von Wolken?

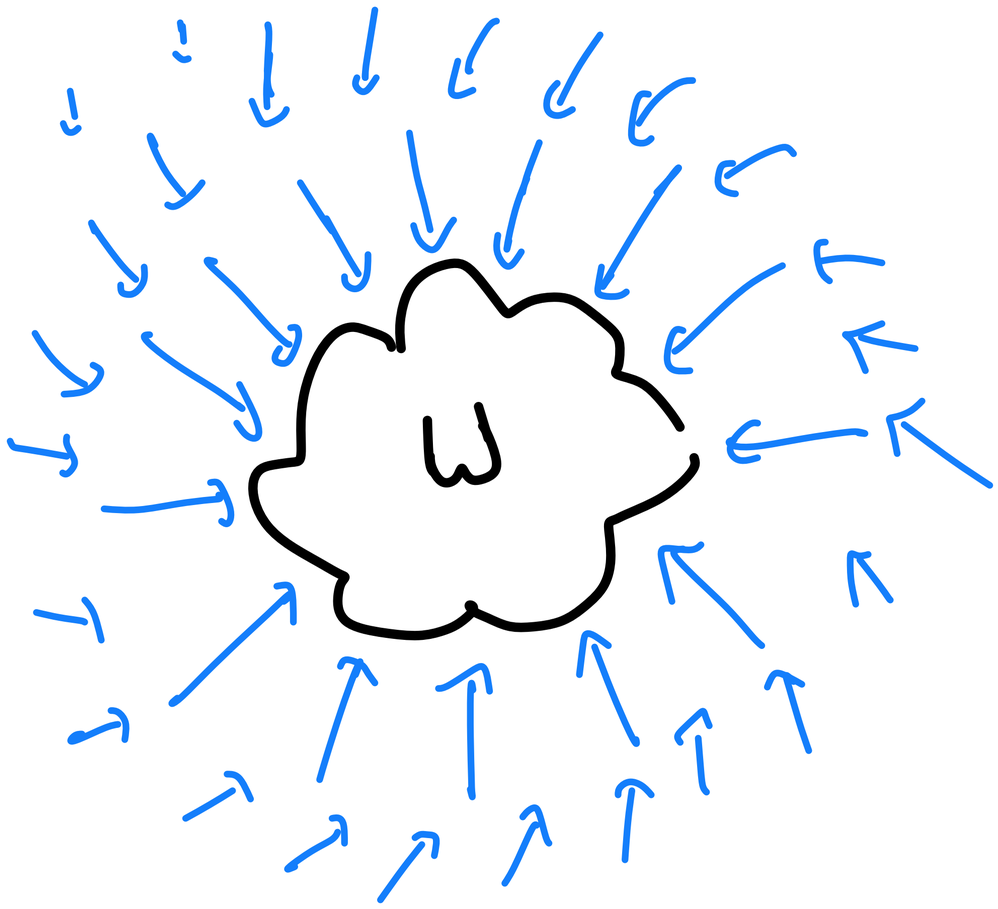


KEIN Regen ⟸ REGEN





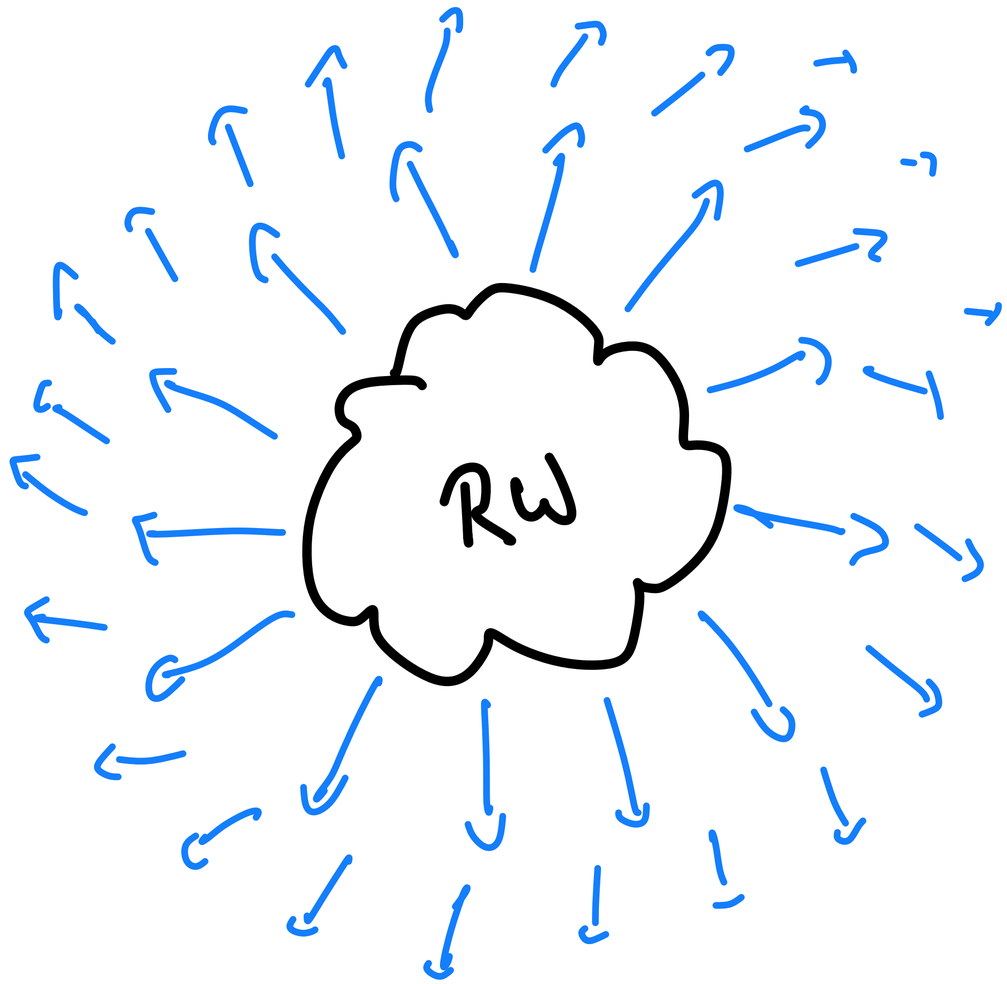
KEIN Regen



$\Longleftrightarrow$

von Oben

REGEN



kein

Grund sind

KEIN Regen

$\Longleftrightarrow$

von Oben

$\Downarrow$

Grundsind

REGEN

Aufgabenteil 2:

Welche Bereiche vermeide ich bei der (Regen-) Wolke?

Was ist der optimale Weg auf der Kreuz? Bitte zeichnet einen Kurs ein und erklärt warum ihr diesen gewählt habt.

Ist der optimale Kurs auf Nord- und Südhalbkugel unterschiedlich?

KEIN Regen

⟸

von Oben

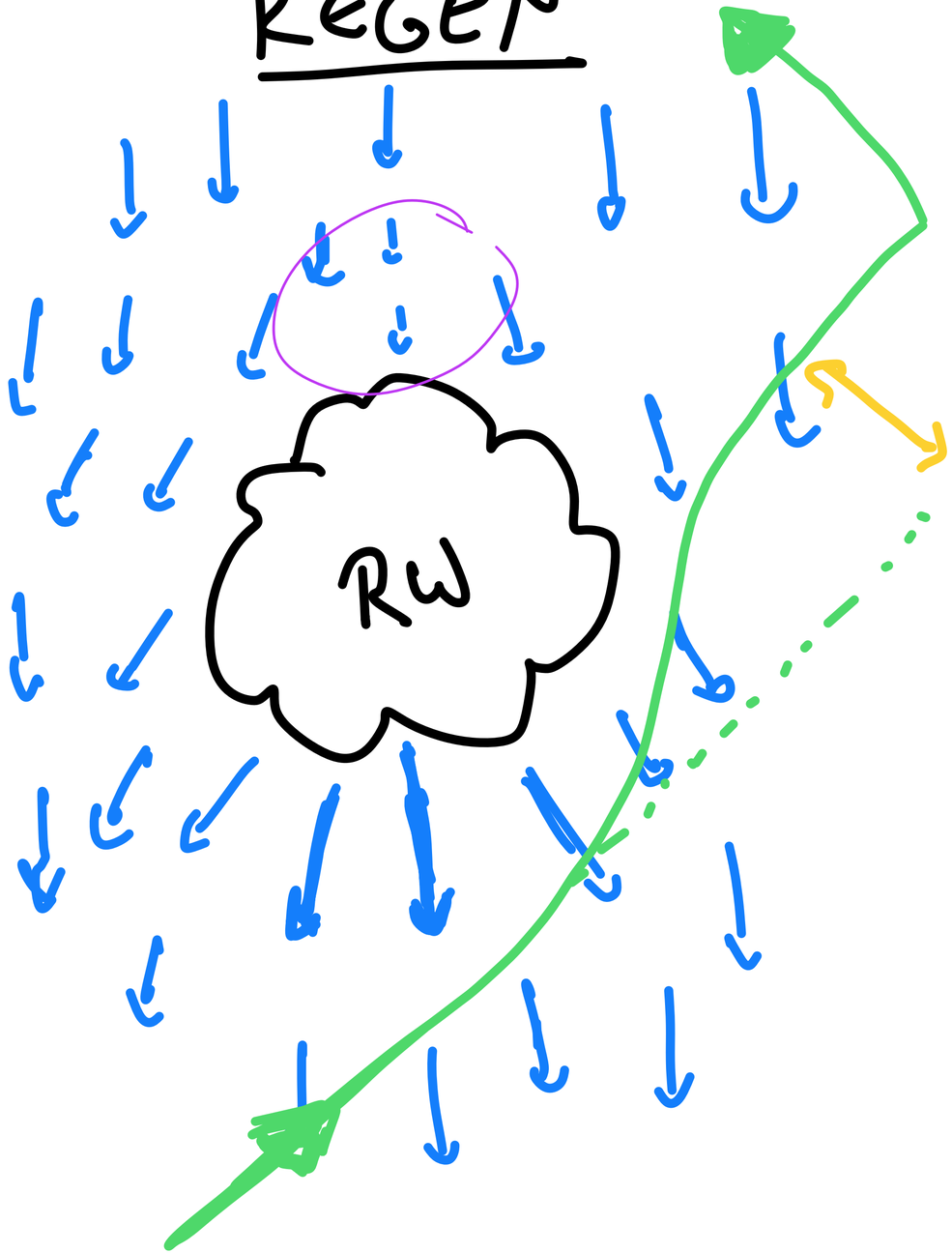
Höhengewinn

Diese Bereiche sind zu vermeiden

⇓

Grund sind

REGEN



Praxistip

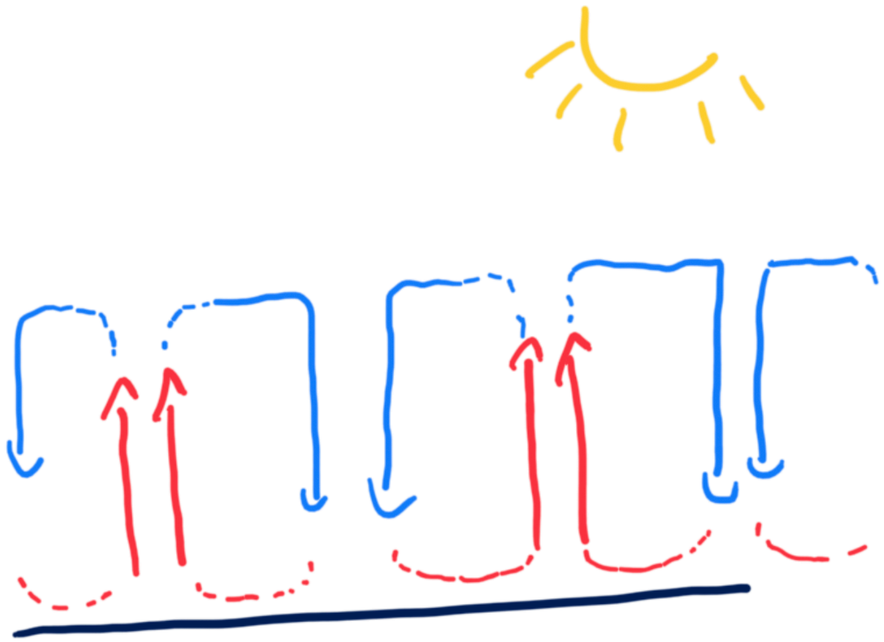
Bei einer (Regen-) Wolke vermeide ich den Bereich direkt vor (hinter) der Wolke.

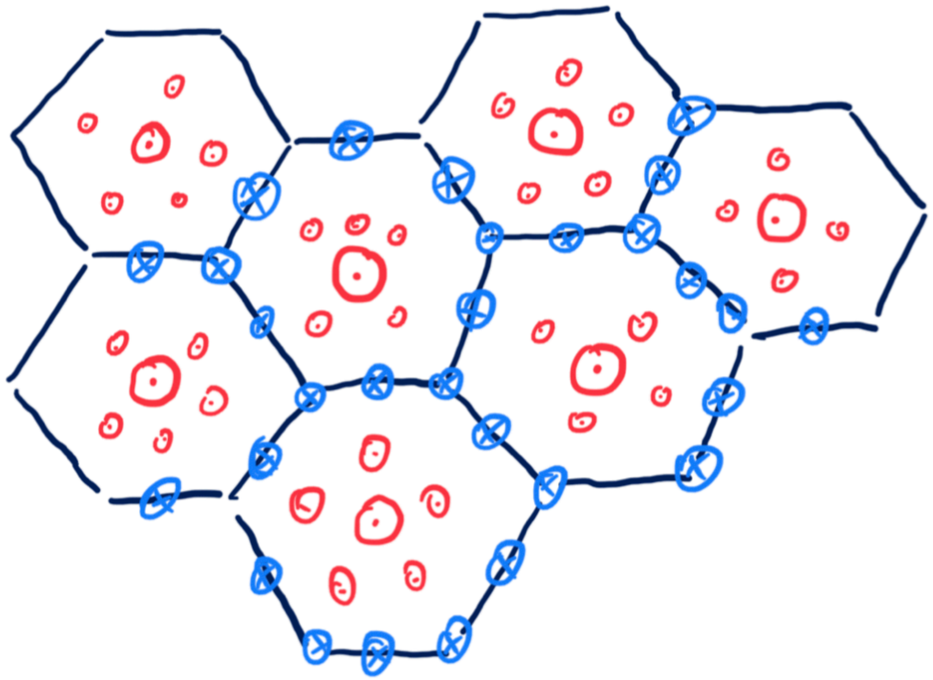
Auf der Kreuz: Wenn eine (Regen-) Woke rechts an mir vorbeizieht dreht der Wind nach links (rechts).

Ich segle wenn möglich seitlich an der Wolke vorbei.

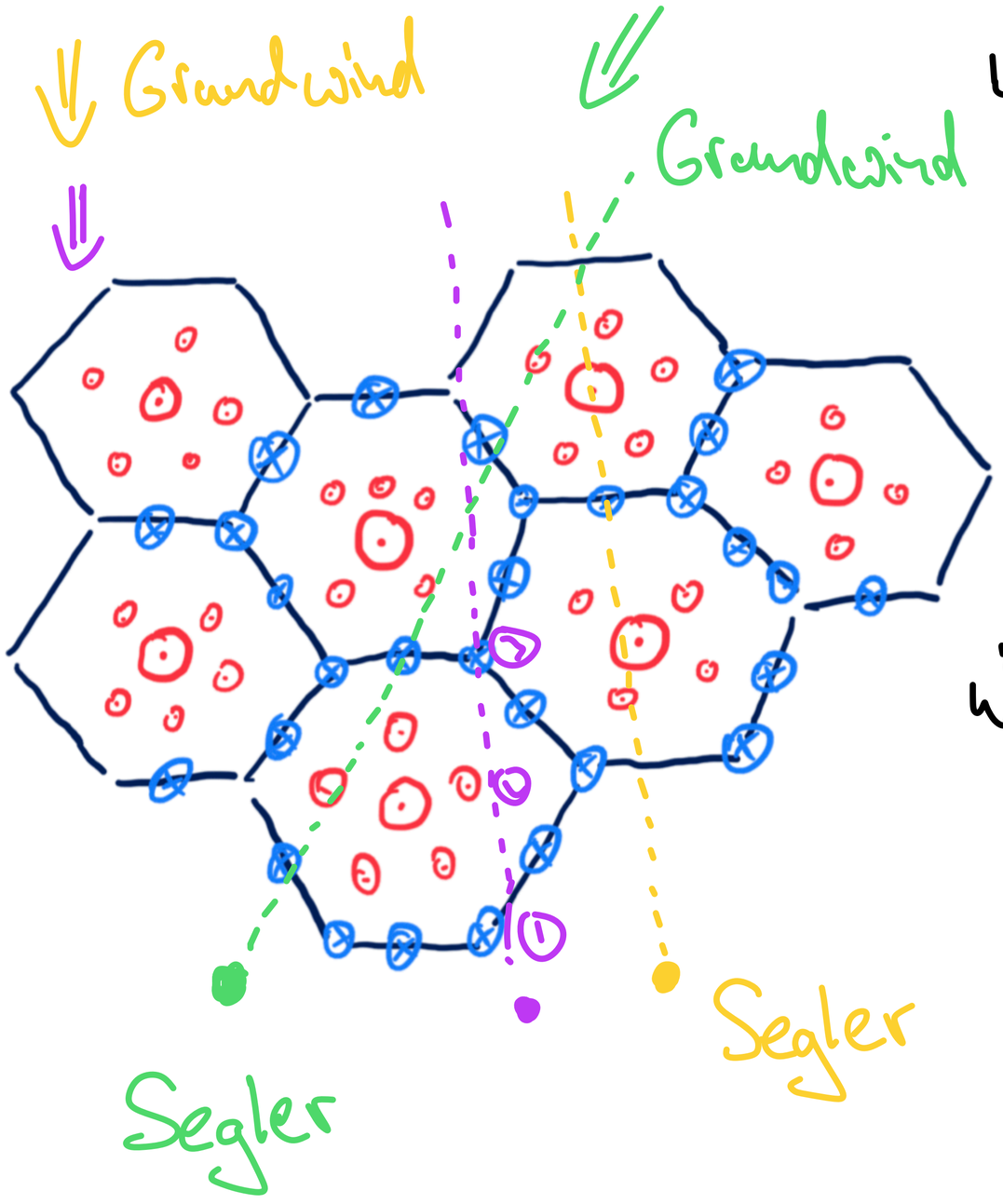
Thermik und Winddreher

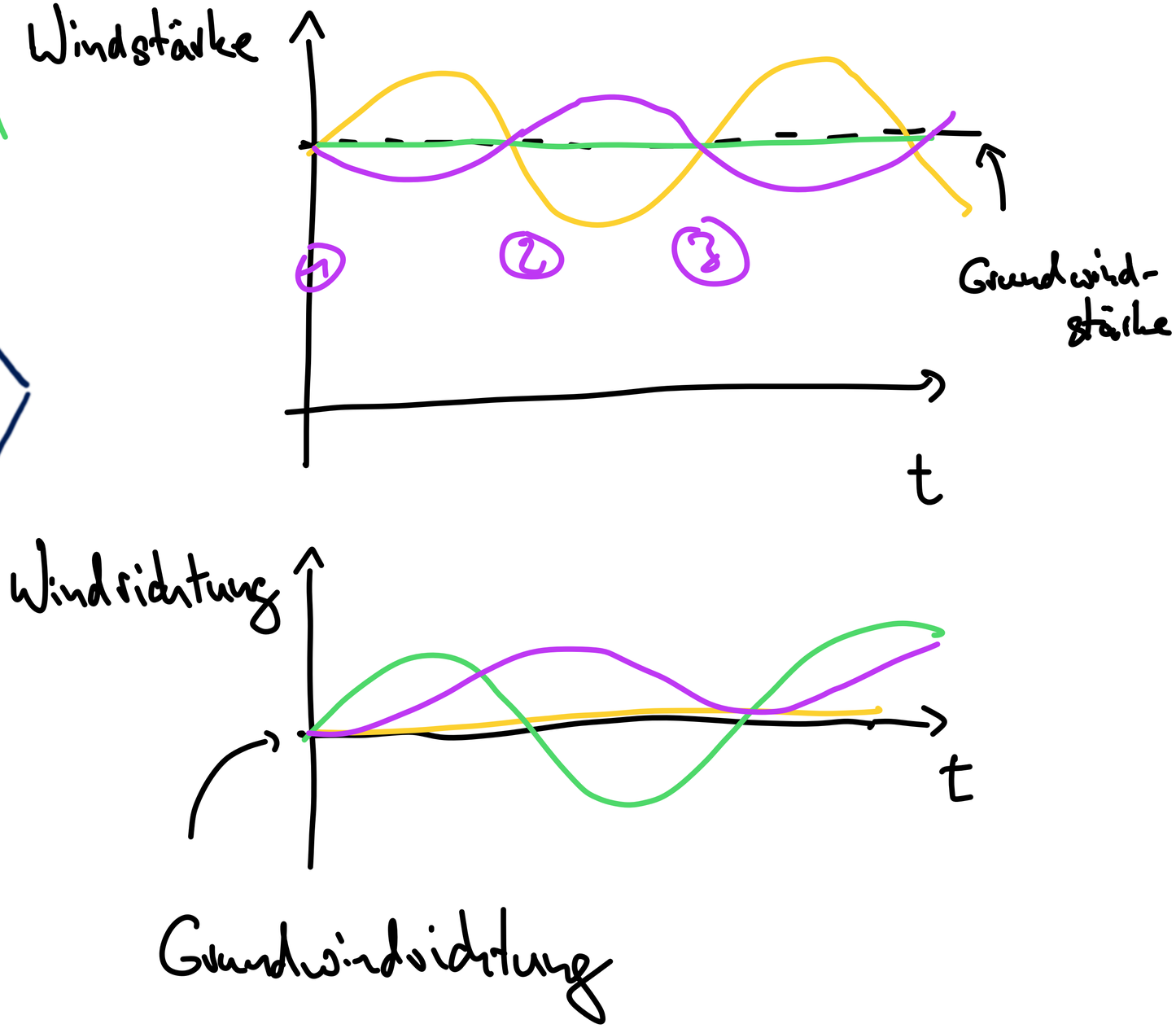
Warum dreht der Wind?



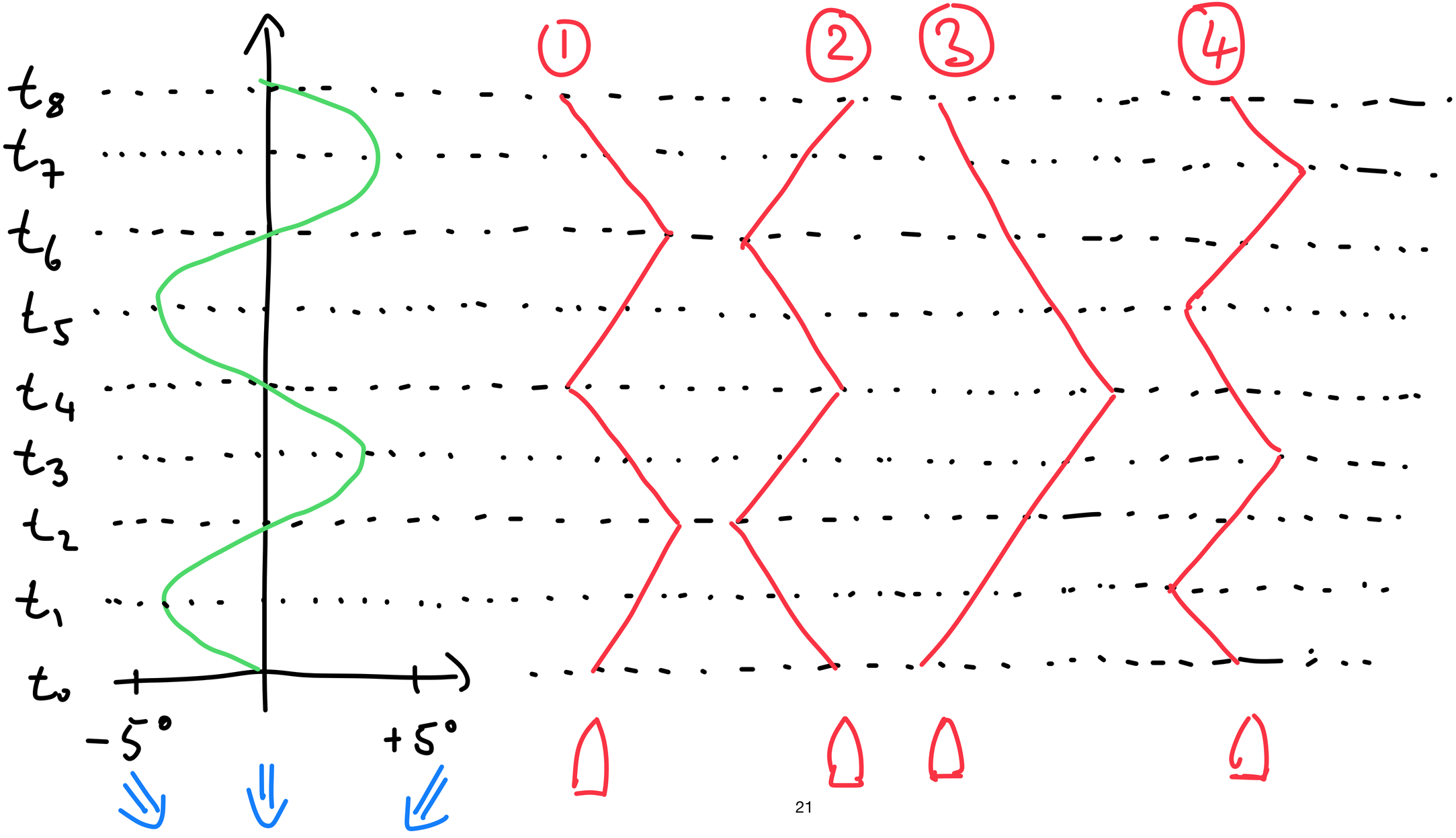


- Durch "äußeren Bedingungen" kann diese Struktur bewegt werden (Grundwind).


Grundwind
Grundwind
Segler
Segler


Windstärke
1
2
3
Grundwind-
stärke
t
Windrichtung
t
Grundwindrichtung

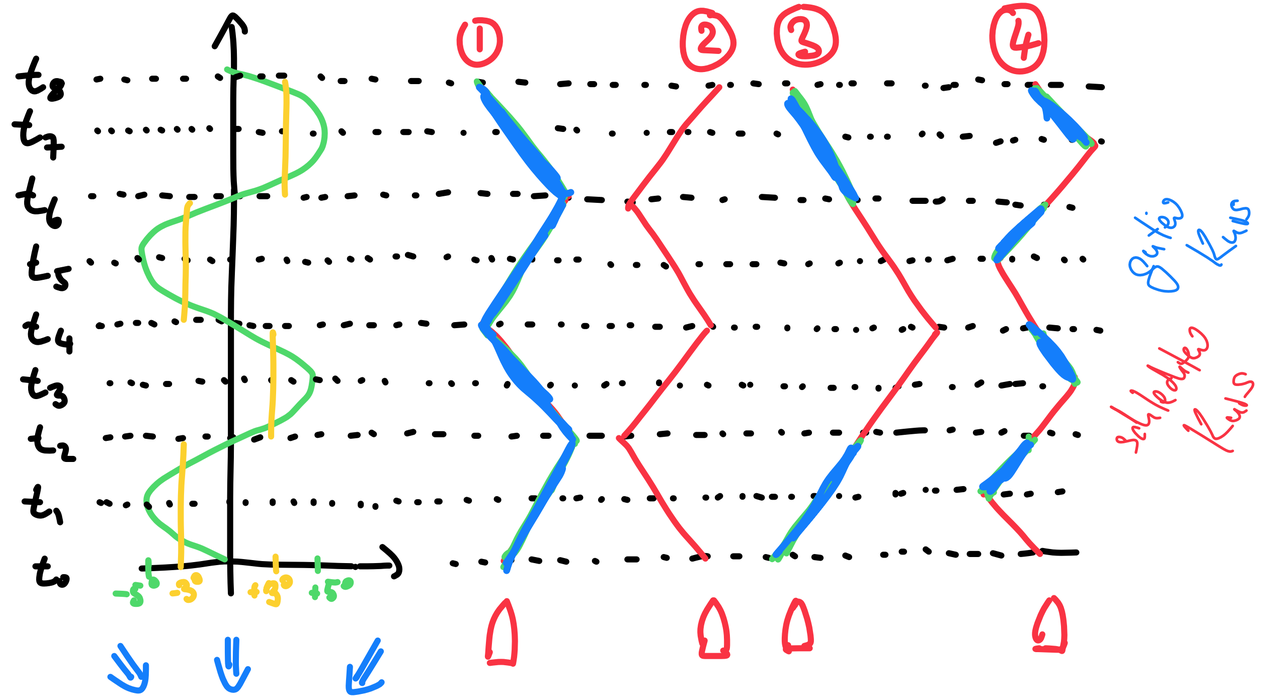
Optimale Wende



Aufgabenteil 3:

Wer ist am Schnellsten? Wie viel Vorsprung
(in Prozent) bringt die richtig getimte Wende?

Optimale Wende



Wendewinkel 80°

Kurze Rechnung

(1) $VMG = v \cdot \cos(37°)$

$= 0.799 \cdot v$

(2) $VMG = v \cdot \cos(43°)$

$= 0.731 \cdot v$

(3) $VMG = \frac{1}{2} \cdot v \cos(37°)$

$+ \frac{1}{2} \cdot v \cdot \cos(43°)$

$= 0.765 \cdot v$

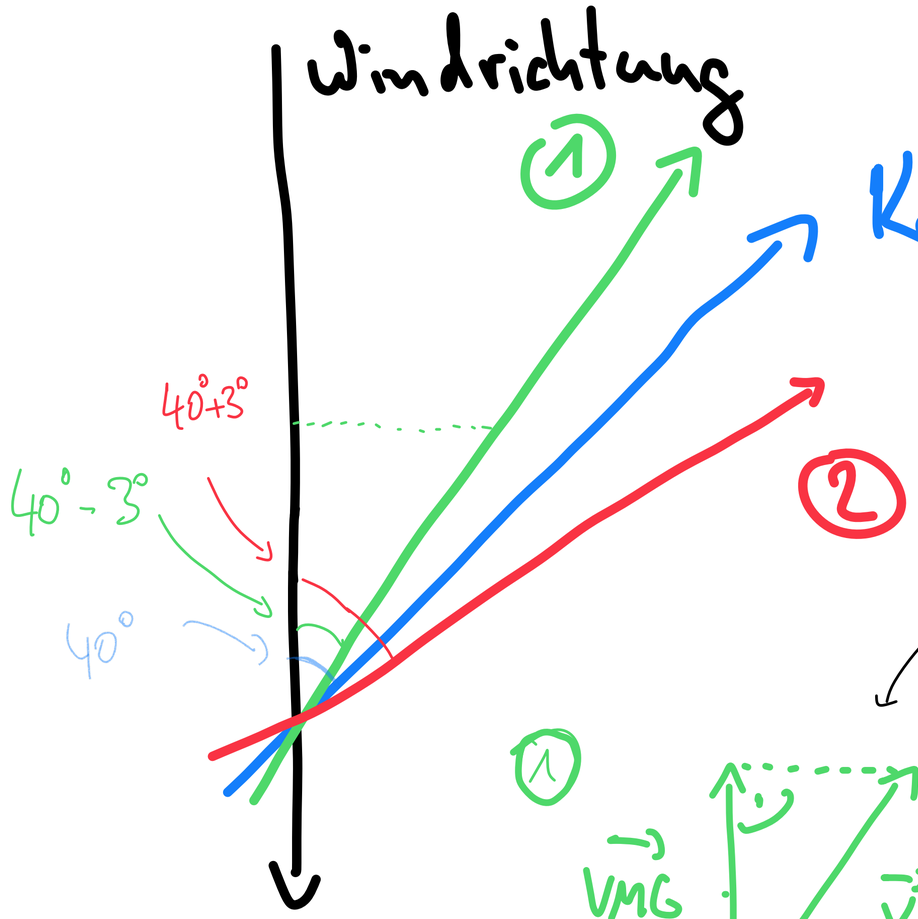
Vereinfachter Fall

Realistischer Fall

Detaillierte Rechnung:

vereinfachter Fall

-> abrupte Winddrehung um ±3°



Kurs ohne Winddrehung

reale Bootsgeschwindigkeit

① $\vec{VMG}$ $\vec{v}$

$VMG = |\vec{v}| \cdot \cos(37°)$

② $VMG = |\vec{v}| \cdot \cos(43°)$

VMG: velocity made good

Das ist die Geschwindigkeit, die gegen den Wind gesegelt wird.

Detaillierte Rechnung:

realer Fall → kontinuierliche Dreher um ±5°

Hier müssen wir über einen Schenkel mitteln.

Die Windrichtung ändert sich als Funktion der Zeit

Für Boot 1 gilt: $VMG = |\vec{v}| \cdot \cos\left[40° - 5° \cdot \sin(\omega t)\right]$ mit $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Wir mitteln über eine halbe Periode $(T/2)$:

$$\Rightarrow \langle VMG \rangle = |\vec{v}| \cdot \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} \cos\left[40° - 5° \sin\left(\frac{2\pi \cdot t}{T}\right)\right] \approx |\vec{v}| \cdot 0.80$$

Detaillierte Rechnung:

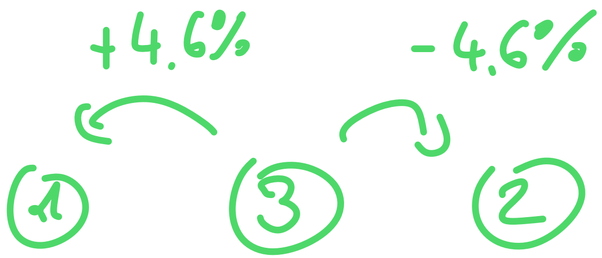
reales Fall → kontinuierliche Dreher um ±5°

Analog gilt für Boot 2:

$$\Rightarrow \langle VMG \rangle = |\vec{V}| \cdot \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} \cos\left[40° + 5° \sin\left(\frac{2\pi \cdot t}{T}\right)\right] \approx |\vec{V}| \cdot 0.73$$

Boot 3 oder 4 ergibt sich aus dem Mittel von 1 und 2:

$$\langle VMG \rangle = \frac{0.80 + 0.72}{2} \cdot |\vec{V}| = 0.765 |\vec{V}|$$



Praxistip

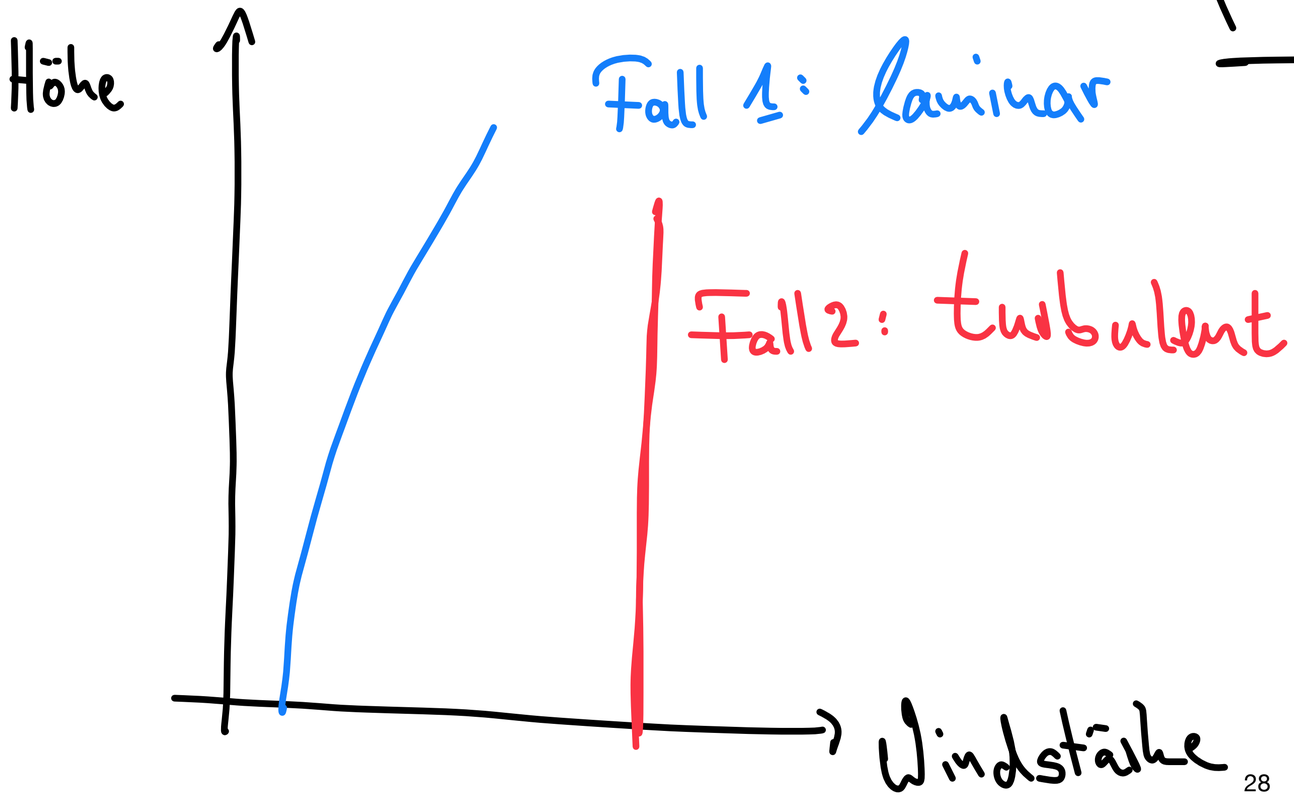
Auf großen Gewässern dreht der Wind kontinuierlich.

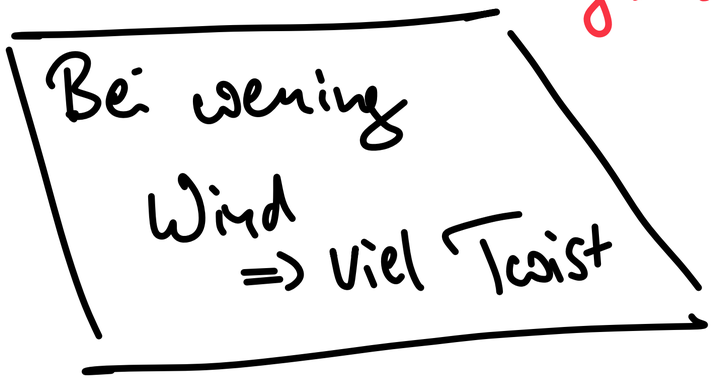
Eine Wende von Steuerbordbug nach Backbordbug muss gefahren werden noch während der Wind von links nach rechts dreht.

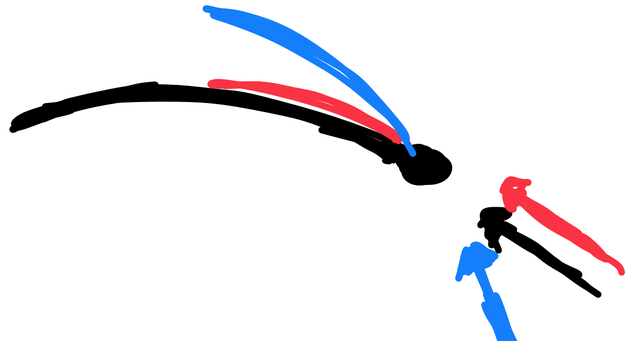
Die Wende von Backbordbug nach Steuerbordbug wir gefahren während der Wind von rechts nach links dreht.

Laminar vs. turbulent

Wie ändert sich der Wind mit zunehmender Höhe?





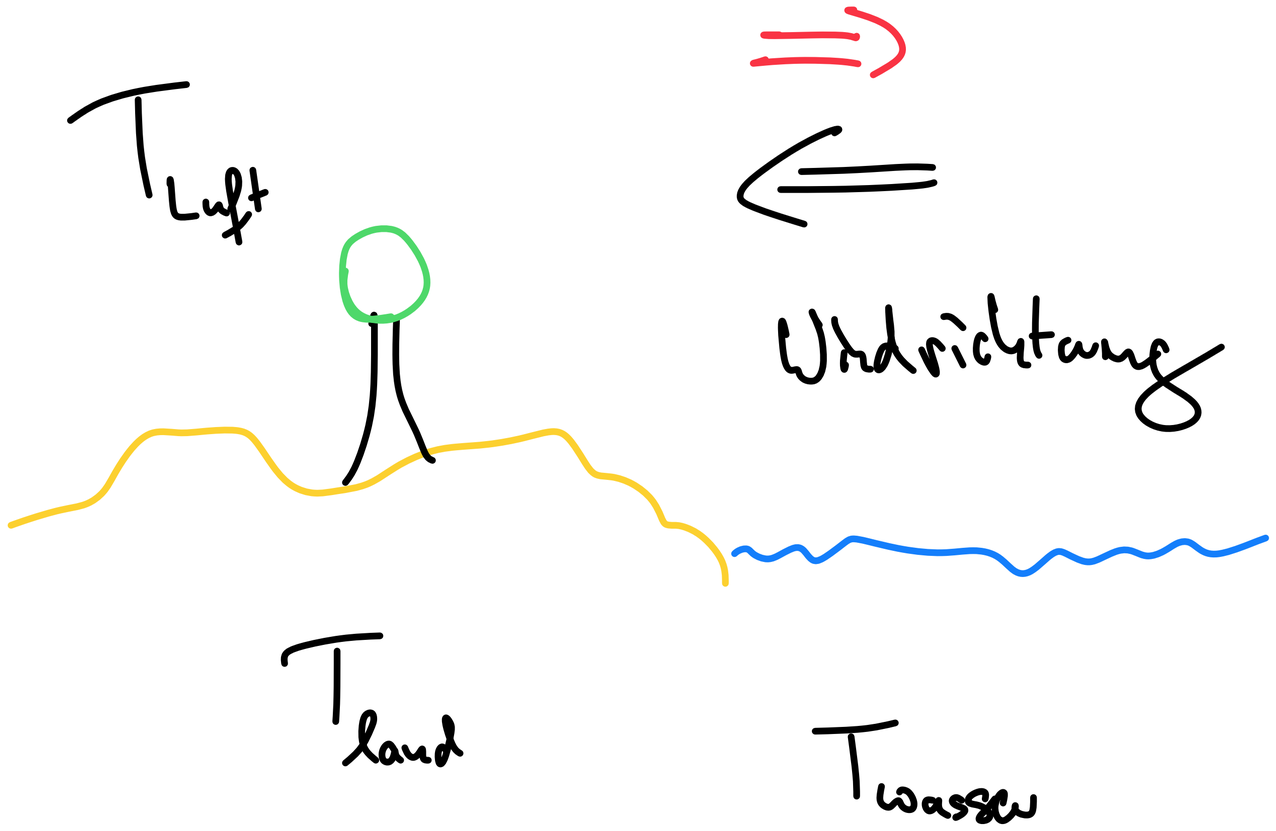


Praxistip

Bei wenig Wind (< 5 knts) ist der Wind laminar. Das Segel wird mit starkem Twist gefahren.

Bei viel Wind ist der Wind turbulent und hängt nicht mehr von der Höhe ab. Wir fahren weniger Twist.

Ist der Wind stabil oder stark schwankend?



Fall 1: stabiles Wind

$T_{land} > T_{Luft} > T_{wasser}$

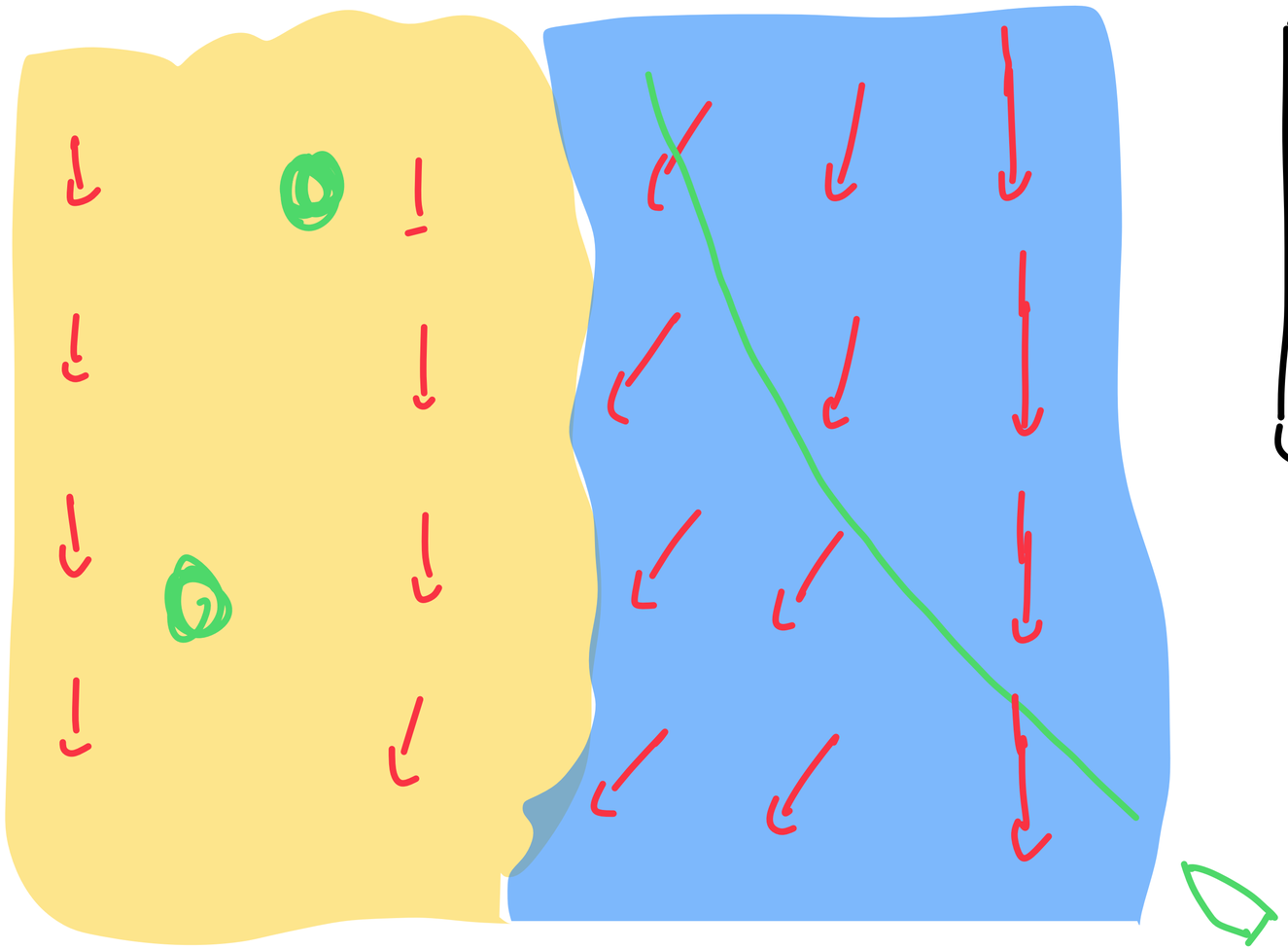
$T_{land} < T_{luft} < T_{wasser}$

Fall 2: drehender Wind

$T_{land} < T_{luft} < T_{wasser}$

$T_{land} > T_{luft} > T_{wasser}$

Wind in Ufernähe



Auf keinen Binnengewässern gilt oft: Der Wind dreht in Richtung Ufer.

Achtung: Durch Thermik kann auch das Gegenteil auftreten!

$$\overline{T}_{Land} \approx \overline{T}_{Wasser} \approx \overline{T}_{Luft}$$

Aufgabenteil 4:

Unter welchen thermischen Bedingung dreht der Wind vom Land weg?

Praxistip

In Landnähe dreht der Wind, weil
1) der Wind über Land gebremst wird und
2) Thermik dominieren kann.

Welcher Effekt dominiert sollte vor dem ersten Start ausprobiert werden!