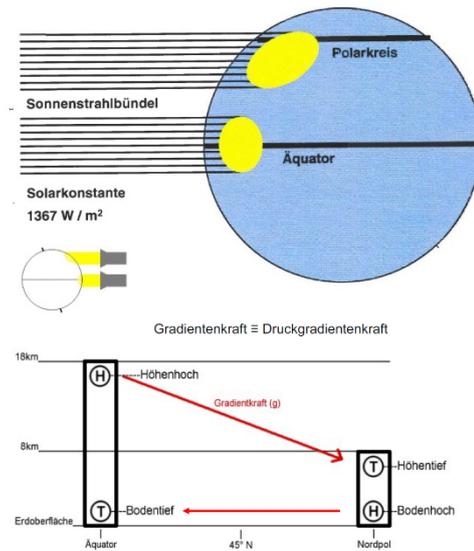


Prüfungsfragen Windkraft 2022

Wind

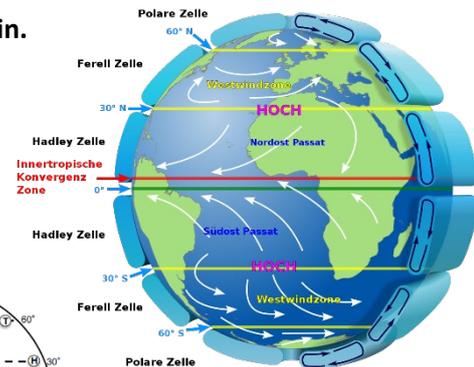
1) Warum ist die Sonne für den Wind verantwortlich? (global)

- Sonne erwärmt die Atmosphäre → Luft & Landmassen
- Erde = Kugel
 - Am Äquator senkrechte Sonnenstrahlen → kleine Fläche → starke Aufheizung
 - An den Polen → verteilt auf große Fläche → geringere Aufheizung
 - + Neigung der Erdachse verstärkt diesen Prozess
 - + Eisflächen an den Polen mit hohem Albedo → reflektieren Sonneneinstrahlung
- Warme Luft am Äquator steigt auf → Tiefdruckgebiet (Boden)
- Kalte Luft an den Polen sinken ab → Hochdruckgebiet (Boden)
 - Wind als Ausgleichsströmung aufgrund der Gradientkraft (8-18km) zwischen Hoch- & Tiefdruckgebiet
 - Kühlt unterwegs zu den Polen ab → sinkt im Hochdruckgürtel (30°) ab → als Passatwind am Erdboden zurück zum Äquator → Hadley-Zelle



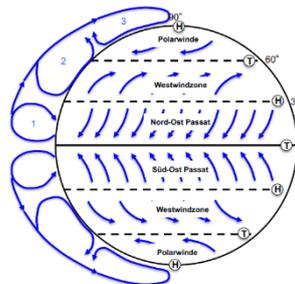
2) Nennen Sie Zirkulationszellen, zeichnen Sie die Zellen in den Globus ein. Welche Zelle ist instabil?

- Hadley-Zelle
- Ferrel-Zelle (instabil)
 - Instabil, weil bei ca. 60° bis 70° treffen die feuchtwarmen Westwinde auf kalte polare Ostwinde
- Polare Zelle



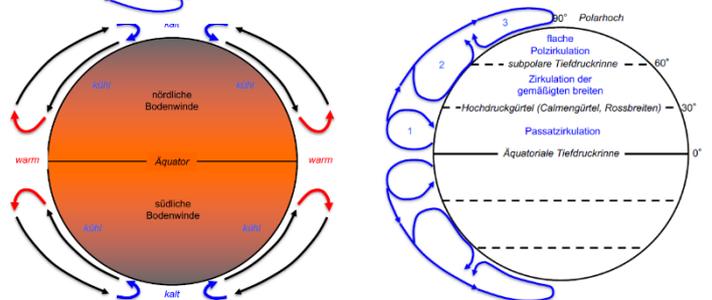
3) Nennen und zeichnen Sie alle Windzonen

- Nordost-Passat
- Südost-Passat
- Westwindzone
- Polare Ostwinde



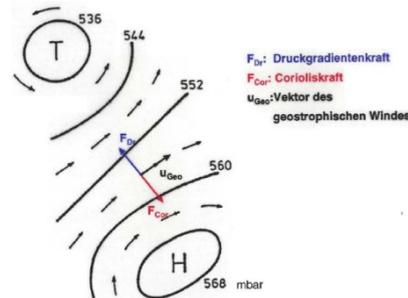
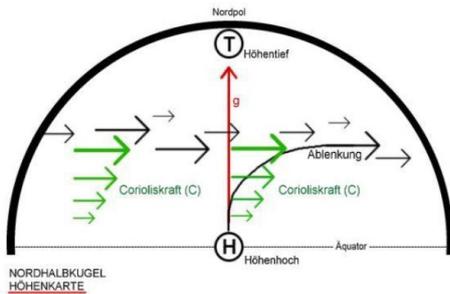
4) Zeichnen Sie die Hoch- und Tiefdruckgebiete in der Nordhalbkugel ein

- Wichtig: Tiefdruckrinne und Hochdruckgürtel einzeichnen
- Bodennahe Winde einzeichnen



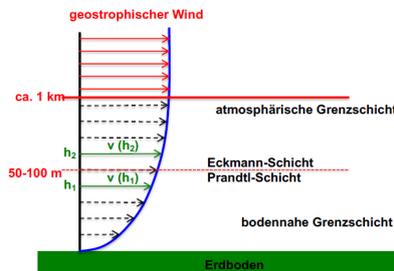
5) Warum werden alle Winde abgelenkt?

- Corioliskraft aufgrund der Erdrotation
 - Erdumfang am Äquator am größten → größte Umdrehungsgeschwindigkeit
 - Erde dreht sich unter dem Luftpaket welches sich vom Äquator Richtung Pol bewegt
 - Zu den Polen hin dreht sich die Erde (aufgrund des sinkenden Umfangs) immer langsamer drunter weg
 - Lenkt Luftpakete in der Nordhalbkugel nach rechts (in Bewegungsrichtung)
 - Auf der Südhalbkugel nach links
 - Luftmassen drehen auf der Nordhalbkugel um großräumige Hochdruckgebiete im Uhrzeigersinn, um Tiefdruckgebiete gegen den Uhrzeigersinn



6) Warum werden bodennahe Winde anders abgelenkt?

- Rauigkeit der Erdoberfläche → bremst bodennahe Luftströme ab + turbulent verwirbelt
- Einfluss der Corioliskraft sinkt
- (Winkel in dem die Luft beim Druckausgleich in das Tiefdruckgebiet einströmt hängt von der Reibungskraft ab (ohne Reibungseinfluss = 0°))

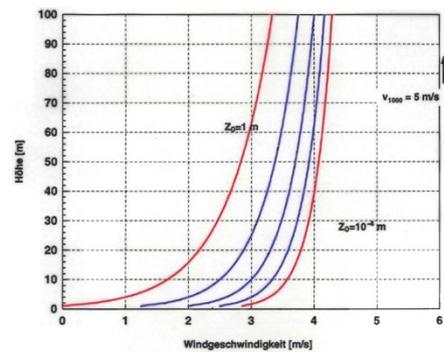


$$v(h) = c \cdot \left[\ln \left(\frac{h}{z_0} \right) - \Psi \left(\frac{h}{L} \right) \right] \quad \text{allgemeine Form mit Störungsterm}$$

$$v(h) = c \cdot \ln \left(\frac{h}{z_0} \right) \quad \text{Vernachlässigung des Störungsterms}$$

$$\frac{v(h_2)}{v(h_1)} = \frac{\ln \left(\frac{h_2}{z_0} \right)}{\ln \left(\frac{h_1}{z_0} \right)} \quad \text{Eliminierung der nur empirisch zu bestimmenden Konstanten } c$$

z_0 ist die Rauigkeitslänge
Ein Maß für die Bodenbeschaffenheit



Höhenprofil, abhängig von der Rauigkeitslänge z_0

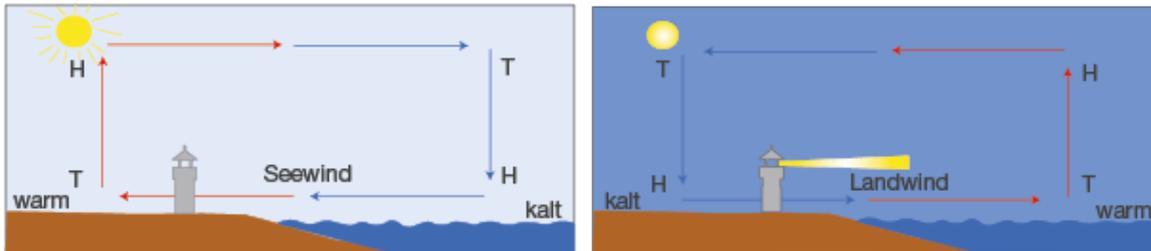
7) Zeichnen Sie das Land-See-Windsystem bei Tag und Nacht

• Tags – Seewind

- Landfläche erwärmt sich schneller als Wasser (Wasser hat größere spezifische Wärmekapazität c) → Warme Luft steigt über dem Land auf → Höhenhoch → Luft fließt Richtung Wasser (niedriger Druck) → Bodenluftdruck an Land wird durch die leichter werdende Luftsäule geringer → Sogwirkung der Luftmassen über dem Meer → Ausgleichsströmung

○ Nachts – Landwind

- Land kühlt schneller ab als Wasser → Warme Luft steigt über dem Meer auf



8) Ist Landwind oder Seewind stärker?

- Seewind tagsüber stärker
 - Temperaturgradient tagsüber höher als nachts → Druckgradient höher → Wind stärker

9) Wie heißen die Klimazonen der Erde?

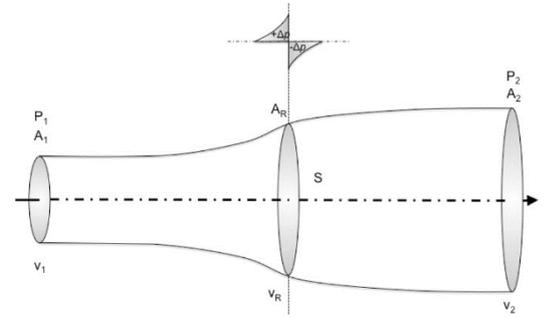
- Polarzone
- Subpolarzone
- Gemäßigte Zone
- Subtropen
- Tropen



Leistung des Windes

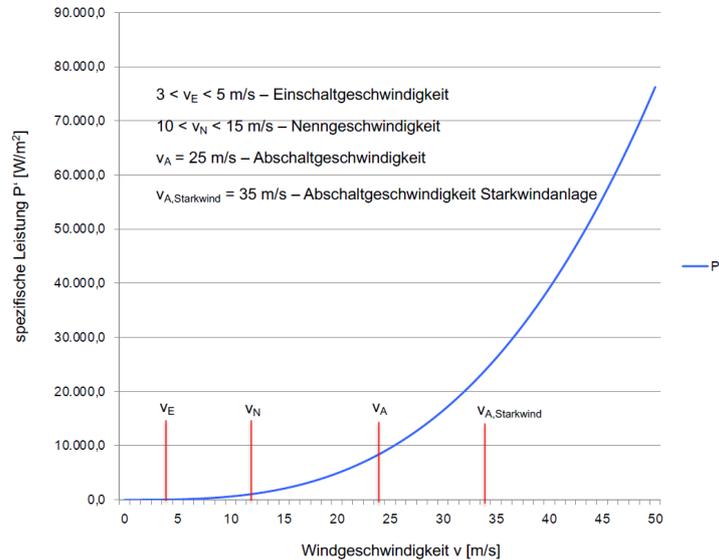
10) Wie berechnet man die Leistung einer Windkraftanlage?

- Voraussetzungen
 - Ebene Strömung
 - Stationärer Fall
 - Inkompressibilität der Luft
 - Kein Wärmestrom zwischen Strömung & Windkraftanlage
 - Windkraftanlage in Strömungsrichtung als Fläche ohne Dicke
 - Strömung erzeugt in der Rotorfläche A einen negativen Sprung im Druckverlauf $-\Delta p$
 - Verlustfreie Entnahme der Nutzleistung P



- Kinetische Energie: $E_{kin} = \frac{1}{2} * m * v^2$ mit $m = \rho * V$
- Massenstrom: $\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \rho * \dot{V} = \rho * \frac{dV}{dt} = \rho * A * v = \rho * \pi * r^2 * v$
 - Volumenstrom: $\dot{V} = \frac{dV}{dt} = A * v$
Volumenstrom = Querschnittsfläche ($A = \pi * r^2$) * Strömungsgeschwindigkeit v
- **Leistung des Windes: [W]** $P = \frac{E_{kin}}{dt} = \frac{1}{2} * \dot{m} * v^2 = \frac{1}{2} * \rho * A * v * v^2 = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3$
 - **Spezifische Leistung pro Fläche: $P' = \frac{1}{2} * \rho * v^3$ [$\frac{W}{m^2}$]**
- Mittlere Dichte der Luft ($p=1013,25\text{mbar}$ & $T=15^\circ\text{C}$): $\rho = 1,255 \frac{kg}{m^3}$

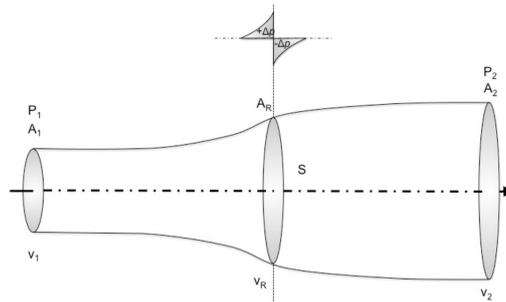
Spezifische Leistung des Windes P'



11) Wie ist die Leistung in Hochdruckgebieten im Vergleich zu Tiefdruckgebieten?

- Leistung im Hochdruckgebiet (1020 hPa) höher als im Tiefdruckgebiet
- Leistung auf Meereshöhe (1013 hPa) höher als im Hochgebirge (795 hPa)
- Leistung bei -10°C ca. 11% höher als bei $+20^\circ\text{C}$

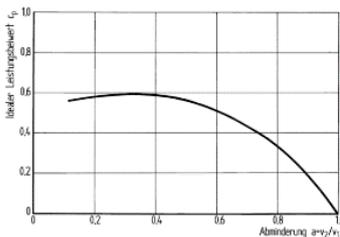
12) Wie berechnen sich die Werte für den Leistungsbeiwert c_p im Ideal-, Real- und Widerstandsläufer-Fall?



- Wollen wissen wie viel mechanische Leistung sich dem Luftstrom entziehen lassen
→ Leistungsdifferenz vor und nach dem Wandler
 - $P = \frac{1}{2} \rho A_1 v_1^3 - \frac{1}{2} \rho A_2 v_2^3 = \frac{1}{2} \rho (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3)$

Idealfall:

- Bei welchem Verhältnis von $\frac{v_2}{v_1}$ wird die entnommene Leistung maximal?
 - $v_2 = 0$ physikalisch unsinnig
 - $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3} \rightarrow$ maximiert die Leistung \rightarrow der ideale Leistungsbeiwert $c_p = \frac{16}{27} = 0,593$



$$c_p = \frac{P_{Turbine}}{P_{Wind}} = \frac{1}{2} * \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right) * \left(1 + \left(\frac{v_2}{v_1}\right)\right)$$

$$c_p = \frac{1}{2} * \left(1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2\right) * \left(1 + \left(\frac{1}{3}\right)\right) = \frac{8}{9} * \frac{1}{2} * \frac{4}{3} = \frac{16}{27}$$

$$c_p = \frac{P_{Turbine}}{P_{Wind}} = \frac{P_{T.mec}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{Wind}^3 \cdot A_{Rotor}} \quad P_{T.mec} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_R \cdot \frac{v_1^3}{4} \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} - 1\right) \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} + 1\right)^2$$

Realfall:

$$c_{P, real} = \frac{P_{Nutz}}{P_0} = \frac{P_{Nutz}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^3 \cdot A_{Rotor}}$$

Widerstandsläufer:

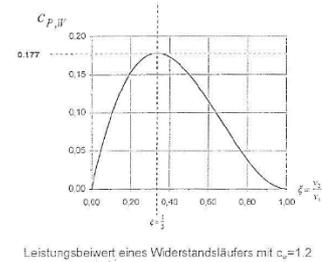
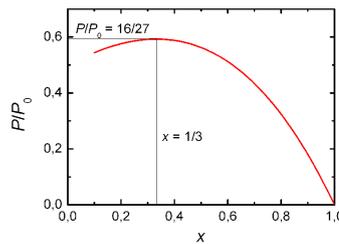
$$P = F_W v_r \quad F_W = c_W \frac{\rho}{2} (v_W - v_r)^2 A \quad P = \frac{\rho}{2} c_W (v_W - v_r)^2 A v_r$$

$$c_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{\rho}{2} c_W A (v_W - v_r)^2 v_r}{\frac{\rho}{2} v_W^3 A} \quad c_{pmax} = \frac{4}{27} c_W \quad c_{pmax} \approx 0,2$$

Mit Begründung oder Skizze erklären?

13) Wie lauten die Werte für den für den Leistungsbeiwert c_p im Ideal-, Real- und Widerstandsläufer-Fall?

$c_{P, ideal} = 0,593$
 $c_{P, real} = 0,45 \text{ bis } 0,5/0,55$
 $c_{P, Darrieus} \approx 0,3$
 $c_{P, W, ideal} = 0,177/c_W = 1,2$



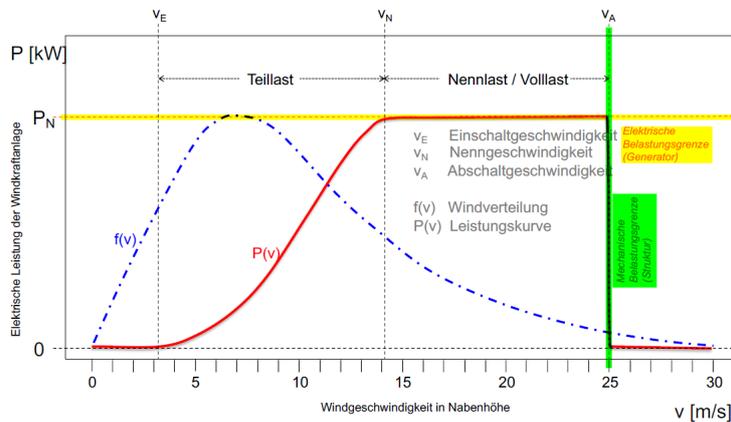
- Nach Betz kann eine WKA maximal 59,3% der Windleistung in Nutzenergie umwandeln
- Energieabgabe verlangsamt die Strömungsgeschwindigkeit → Luftstau lässt Luft an Rotorfläche ausweichen. Vollständige Energieabnahme würde bedeuten die Luft kommt vollständig zum Stehen
- Der ideale Leistungsbeiwert 0,593 wird nie erreicht, da mit vereinfachten Annahmen berechnet → Drall, Reibungen, Strömungsstörungen... reduzieren realen Leistungsbeiwert

14) Warum erreicht man den Leistungsbeiwert $c_{p, w, ideal}$ bei einem Widerstandsläufer nicht?

- Widerstandsläufer haben eine maximale Schnelllaufzahl = 1
→ Blätter können sich höchstens so schnell bewegen wie der Wind
- Höchstwert: $c_{P,W,ideal} = \frac{4}{27} * c_W = \frac{4}{27} * 1,3 \approx 0,2$
- Aufprallfläche dreht sich durch den Wind → Maximale Kraftübertragung wenn der Wind senkrecht auftritt → reale Fläche verändert sich, während beim idealen Wert der Wind immer auf eine konstante Fläche tritt (+ Vereinfachungen)

15) Was für eine Grenze ist die Nennleistung P_N ?

- Elektrische Belastungsgrenze des Generators



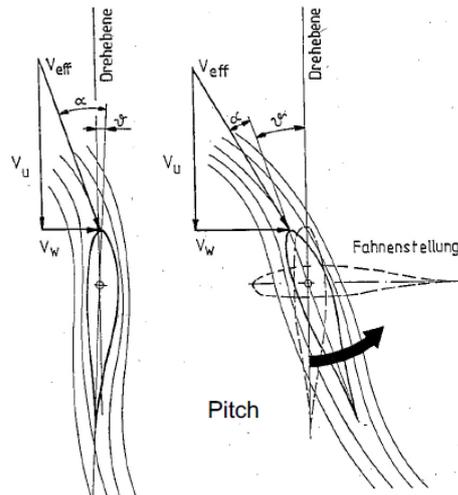
16) Wie berechnet man den Wirkungsgrad einer Windkraftanlage?

$$\eta = \frac{P_{Nutz}}{P_{ideal}} = \frac{P_{Nutz}}{c_{P, ideal} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^3 \cdot A_{Rotor}}$$

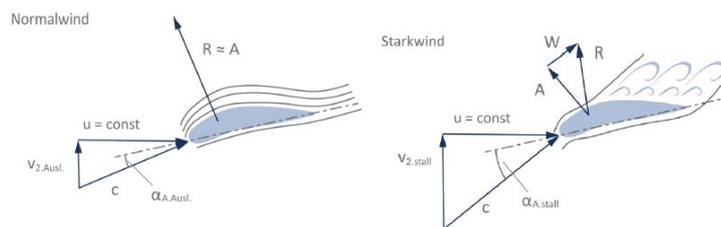
17) Wie sieht die Leistungskurve für eine Pitch geregelte Anlage aus? Zeichnen Sie die Werte v_E , v_N , v_A ein.

- **Pitch (aktiv): Aktive Reduzierung vom Anstellwinkel α**

- Blätter der WKA sind verstellbar, je mehr der Wind zunimmt, desto stärker die Blätter durch Reduzierung von α aus dem Wind gedreht \rightarrow Auftrieb nimmt ab \rightarrow Leistungsübertragung verringert

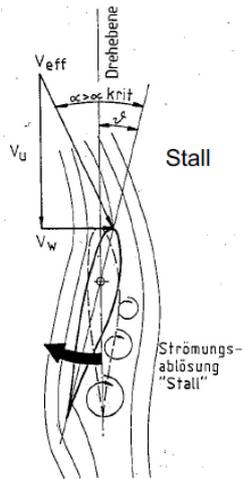


- Schwacher Wind ($<3\text{m/s}$) \rightarrow Wind zu schwach um Rotorwelle anzutreiben \rightarrow WKA produziert keinen Strom \rightarrow Blätter in Fahnenstellung (Pitchwinkel = 90°) \rightarrow steht still oder sehr langsam (Trudelbetrieb)
- Normaler Wind ($3\text{-}15\text{ m/s}$) \rightarrow WKA produziert Leistung, aber Wind zu schwach für Nennleistung \rightarrow Pitchwinkel = 0° \rightarrow Blätter im optimalen Arbeitspunkt
- Starkwind ($15\text{-}25\text{ m/s}$) Windleistung zu groß \rightarrow WKA muss Leistungsabgabe begrenzen \rightarrow Anlage wird gepitcht \rightarrow Pitchwinkel nimmt mit der Windgeschwindigkeit zu ($0^\circ\text{-}30^\circ$) um die Auftriebskraft so zu beeinflussen, dass die Anlage bei ihrer Nennleistung bleibt
- Sturm ($>25\text{ m/s}$) \rightarrow WKA abschalten, um Schäden zu vermeiden \rightarrow Pitchwinkel = 90° \rightarrow Blätter in Fahnenstellung
- **Stall (passiv): Strömungsabriss durch α aufgrund von Profilbauweise**
 - Leistungsregelung nur über die Bauweise der Blätter (passiv).
 - Durch den Strömungsabriss (Stall) verstärkt sich bei zunehmendem Wind der Widerstand und die Anlage überdreht nicht \rightarrow Blätter werden bei zu starkem Wind ineffizient

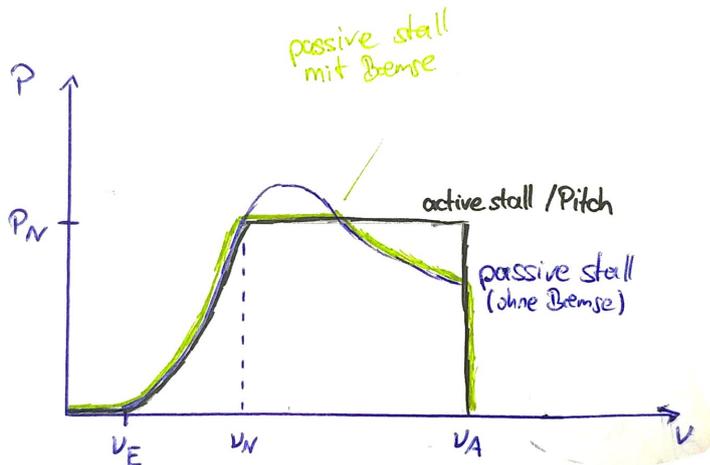


- **Stall (aktiv): Aktive Vergrößerung von α bis zum Strömungsabriss (bei Pitch wird α reduziert)**

- Aktive Verstellung der Rotorblätter \rightarrow erhöht Blatteinstellwinkel \rightarrow Strömungsablösung
- Vorteil der aktiven Stallregelung: Leistungsabgabe kann genauer geregelt werden \rightarrow kann auch bei hohen Windgeschwindigkeiten nahe der Nennleistung betreiben



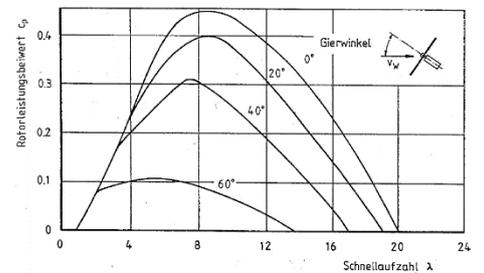
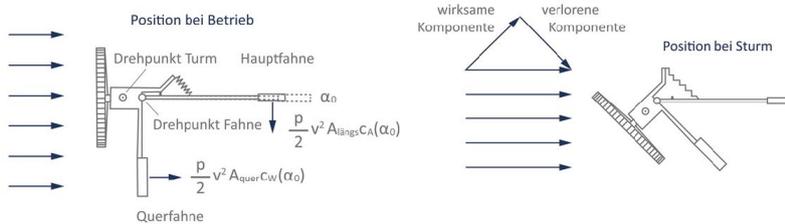
• **Leistungskurve**



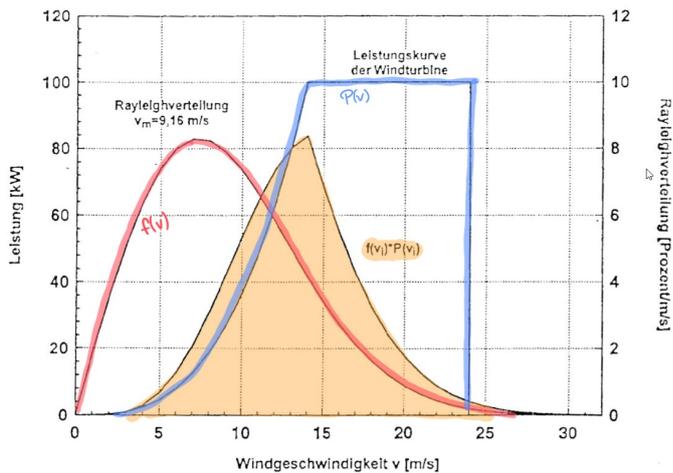
- Bei einer stall-geregelte Anlage versagt die Bremse, zeichnen Sie den Kurvenverlauf in die gleiche Zeichnung ein.

- Passiv stall ohne Bremse

• **Aus dem Wind drehen: Schräganströmung**



18) Wie berechnet man den Jahresenergieertrag?



$$W = \sum_{v_E}^{v_A} f(v) \cdot P(v) \cdot \Delta v \cdot 8760h$$

$$W = \int_{v_E}^{v_A} f(v) \cdot P(v) \cdot dv \cdot 8760h$$

- $f(v)$ = Windverteilung (eig. Auch abhängig von der Höhe $f(v(z))$)
- $P(V)$ = Leistungskurve
- Was ändert sich bei geänderten Integrationsgrenzen? Vgl. 01.04.2013
 - Integrationsgrenzen $-\infty / +\infty$
 - Nichts, weil die Kurve über die integriert wird sich nicht verändert

19) Wie lautet die Höhenumrechnungsformel bei bekannten z_0 ?

$$v(h) = c \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)$$

$$\frac{v(h_2)}{v(h_1)} = \frac{\ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)}$$

Eliminierung der nur empirisch zu bestimmenden Konstanten c

z_0 ist die Rauigkeitslänge
Ein Maß für die Bodenbeschaffenheit

20) Du bekommst Leistungsdiagramm & Windverteilung vom Hersteller → was fehlt noch?

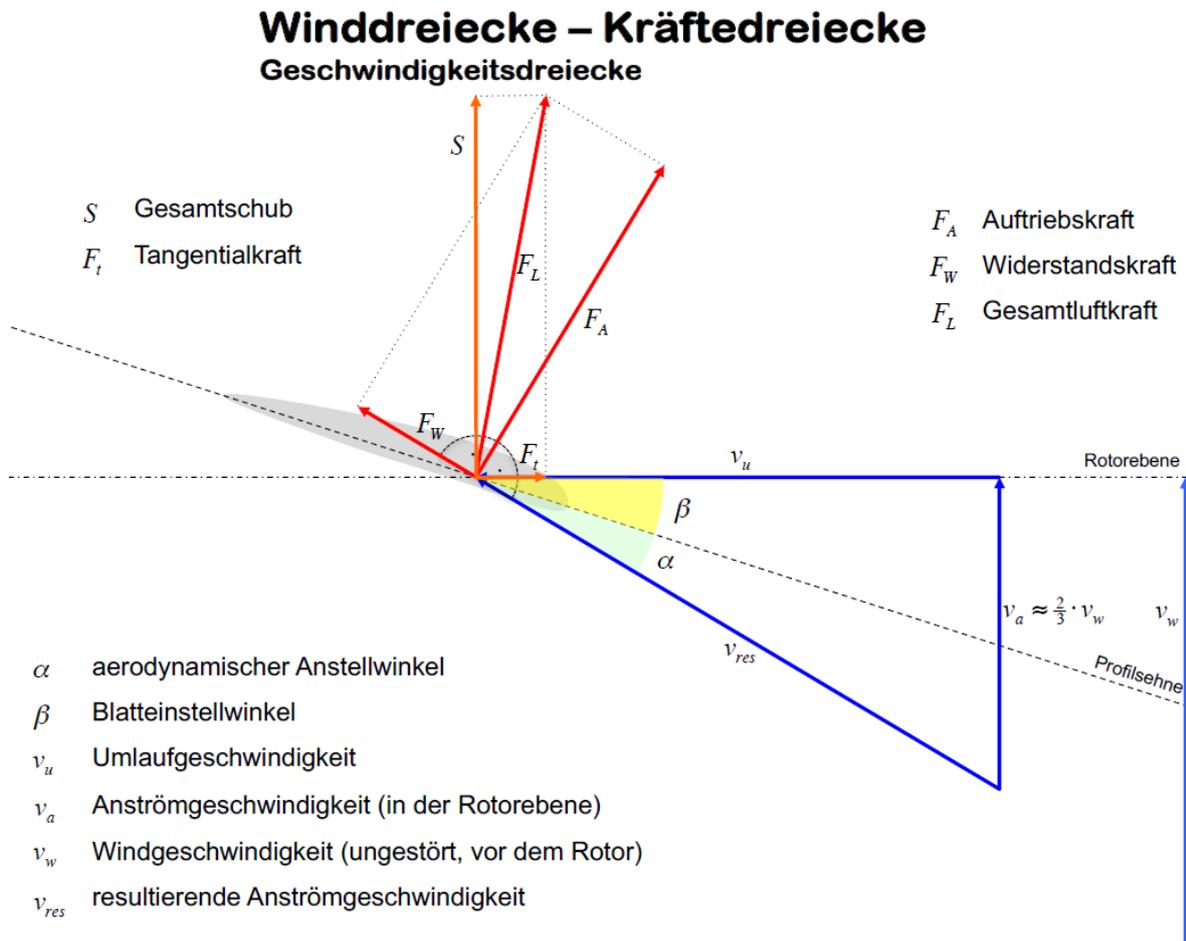
- Höhenanpassung Formel??

21) Was passiert bei einer Pitch geregelten Anlage wenn die Windgeschwindigkeit über v_N geht?

- Nennleistung von Bauart des Generators vorgegeben → entspricht seiner maximal dauerhaft abzugebenden elektrischen Leistung. Um den Generator vor Überdrehzahl zu schützen, werden ab Erreichen der Nennwindgeschwindigkeit die Pitchwinkel der Flügel "abgeregelt". Dabei wird der aerodynamische Wirkungsgrad (c_p) der Blätter verschlechtert, indem sie aus ihrem optimalen Anstellwinkel herausfahren werden. Bei Sturm ein Pitchwinkel von 90°

Winddreieck

22) Zeichnen Sie ein Winddreieck & Kräftedreieck



23) Was passiert wenn v_u doppelt so groß?

- Winkel α wird kleiner \rightarrow Auftriebskraft wird kleiner
- Wird F_A bei $2 \cdot v_u$ größer oder kleiner?
- Was passiert mit c_a ?

24) Was ist anders bei drehzahlstarrer Kopplung & doppelten Wind?

- α wird größer

25) Vor der Erhöhung der Windgeschwindigkeit lag die Windgeschwindigkeit bei 45% von v_a . Was passiert bei einer stall-geregelten Anlage?

26) Die Windgeschwindigkeit erhöht sich um 100%. Wie sieht das Winddreieck bei einer drehzahlstarrten Anlage nun aus?

- Aerodynamischer Anstellwinkel α steigt \rightarrow höhere mechanische Belastung \rightarrow Anlage muss gebremst werden. Anlage liefert mehr Leistung

27) Was passiert mit dem Auftriebsbeiwert c_A ?

- Auftriebsbeiwert ist proportional zu α \rightarrow Auftriebsbeiwert c_A steigt an (bis zum Strömungsabriss)

28) Durch einen technischen Fehler steigt die Umlaufgeschwindigkeit um 50%. Zeichnen sie das Winddreieck nun ein.

-

29) Wird der Auftriebsbeiwert durch diesen Defekt vergrößert oder verkleinert?

- Resultierende Geschwindigkeit wird größer, aber der aerodynamische Anstellwinkel kleiner
→ Auftrieb wird geringer

30) Vor der Erhöhung der Windgeschwindigkeit lag diese bei 45% von v_A . Was passiert bei einer passiv und aktiv stall-geregelten Anlage?

- Stall aktiv → Vergrößerung vom Anstellwinkel α
- Stall passiv → Strömungsabriss

31) Was passiert bei einer Pitch geregelten Anlage wenn die Windgeschwindigkeit über v_N geht?

- Die Nennleistung wird vom Generator und seiner Bauart vorgegeben und entspricht seiner maximal dauerhaft abzugebenden elektrischen Leistung. Um den Generator vor Überdrehzahl zu schützen werden ab Erreichen der Nennwindgeschwindigkeit die Pitchwinkel der Flügel "abgeregelt". Dabei wird der aerodynamische Wirkungsgrad (c_{PP}) der Blätter verschlechtert, indem sie aus ihrem optimalen Anstellwinkel herausgefahren werden. Bei Sturm ein Pitchwinkel von 90 Grad.

32) Was sagt die Gleitzahl ε aus?

- $\varepsilon = \frac{c_A}{c_W}$ Verhältnis zwischen dem Auftriebswert c_A und dem Widerstandswert c_W → bestimmt die Güte des Blattes, umso höher, umso schneller das Blatt

33) Was bedeutet die Schnelllaufzahl λ ?

- Es ist die Umfangsgeschwindigkeit einer Blattspitze im Verhältnis zur Windgeschwindigkeit

34) Wieso haben alle Windkraftanlagen drei Rotorblätter und nicht ein, zwei oder vier Blätter?

- Ein- und Zweiblattrotoren müssen motorisch angeworfen werden, starten erst bei höheren Geschwindigkeiten, ihr Anlaufmoment ist höher.
- Ihr Profilwiderstand ist höher → notwendige Beschichtungen teurer
- Vierblattrotoren sind minimal besser als Dreiblattrotoren - ihr c_P Wert ist etwas höher, aber viel teurer → in keinem Verhältnis zum Nutzen.

35) Wieso benötigt man eine aerodynamische Leistungsregelung?

- Damit die maximale Generatorleistung nicht überschritten wird und der Generator nicht schmilzt

Netzkopplung

Asynchrongenerator (drehzahlfest):

- WKA mit direkter Netzeinspeisung (dänisches Konzept) haben Nachteil der starren Rotordrehzahl → hohe mechanische Beanspruchungen → niedrigeren Leistungsbeiwert
- Ausbeute nur für eine Windgeschwindigkeit optimal → starker Wind belasten Rotor & Antriebsstrang
 - Konzept mit Blattwinkelverstellung erlaubt leichte Variation der Drehzahl → entlastet Struktur & verlängert die Lebensdauer
- Asynchronmotor kann durch Schlupferhöhung bei starkem Wind „drehzahlweich“ rotieren
 - Böe → Drehzahlerhöhung → Schlupferhöhung → muss durch Blattwinkelverstellung der Rotorblätter aufgefangen werden
 - Entstehende Verlustleistung als Wärme abgegeben → Maßnahme für kurzzeitigen Einsatz

Doppelgespeister Asynchrongenerator (drehzahlvariabel):

- drehzahlvariabler Rotor, geregelt durch Verstellen der Rotorblätter (Pitch-Regelung)
- Umrichter verbindet Läufer des Generators mit dem Netz
 - Ermöglicht übersynchronen & untersynchronen Betrieb → drehzahlvariabel
- Nur ein Teil des Stroms muss mit dem Umrichter an die gewünschte Frequenz angepasst werden
- Schlupfleistung aus dem Läuferkreis über einen Stromrichter ins Netz zurückgespeist werden (übersynchroner Generatorbetrieb), oder es wird Leistung dem Läufer zugeführt (untersynchroner Generatorbetrieb).
- Vorteile zum Synchrongenerator:
 - billiger als ein Synchrongenerator
 - Nur ca. 20-40% der erzeugten Leistung durch den Umrichter umgesetzt → Umrichter ist kleiner, billiger und verlustärmer → besserer Gesamtwirkungsgrad

Synchrongenerator (Enercon – drehzahlvariabel):

- Drehzahlvariabel, mit einem Synchrongenerator und indirekter Netzeinspeisung
- Variable Rotordrehzahl → kann sich jeder Windgeschwindigkeit anpassen → optimale aerodynamische Leistung
- Leistungsregelung durch Blattwinkelverstellung (Pitch)
- Synchrongenerator wandelt mechanische in elektrischer Energie um
- Umrichter passt die volle Generatorleistung an die gewünschte Spannung und Frequenz an
 - Generator arbeitet nicht mit bestimmter Drehzahl → produziert Strom mit variabler Frequenz → kann nicht direkt ins Netz gespeist werden → Umrichter
- 2 mögliche Unterkonzepte
 - Getriebe zwischen Rotor & Synchrongenerator
 - Produziert Verluste & Wärme, benötigt Wartung, Ölwechsel, Reparaturen
 - Ohne Getriebe
 - Synchrongenerator (Ringgenerator) direkt an Nabe gekoppelt, viel teurer, schwerer, größer, aber kaum mechanische Bauteile

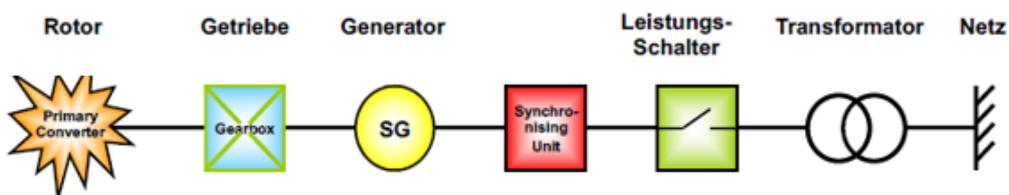
36) Was ist der Unterschied zwischen Synchron- und Asynchronmotor?

- **Synchronmotor**
 - Sehr effizient
 - Geringe Kosten
 - Benötigt keine Blindleistung
 - Netzaufbau - Bereitstellung von Blindleistung
 - Einfachere Leistungselektronik
 - Wartung
 - Netz Kopplung - benötigt Synchronisierereinrichtung
- **Asynchronmotor**
 - Effizient - Schlupfleistung vorhanden
 - Sehr geringe Kosten - Massenfertigung
 - Kaum Wartung nötig
 - Gute Netz Kopplung
 - Benötigt Blindleistung
 - Kompliziertere Leistungselektronik

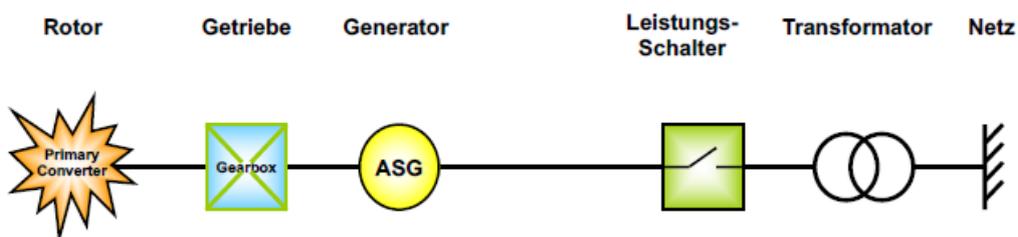
	<i>synchronous</i>	<i>asynchronous</i>	<i>remark</i>
Effizienz	++	+	ASG Schlupf
Kosten	+	++	ASG Massenprodukt
Wartung	o	++	ASG Käfigläufer
Blindleistung	++	-	ASG benötigt Blindleistung
Netz Kopplung	o	+	SG Synchronisierereinrichtung
Netzaufbau	++	-	SG Bereitstellung von Blindleistung
Leistungselektronik	++	o	SG einfachere Leistungselektronik

- Der Einsatz von Leistungselektronik kann die Vor- und Nachteile der einzelnen Generatortypen relativieren, wenn nicht gar aufheben.

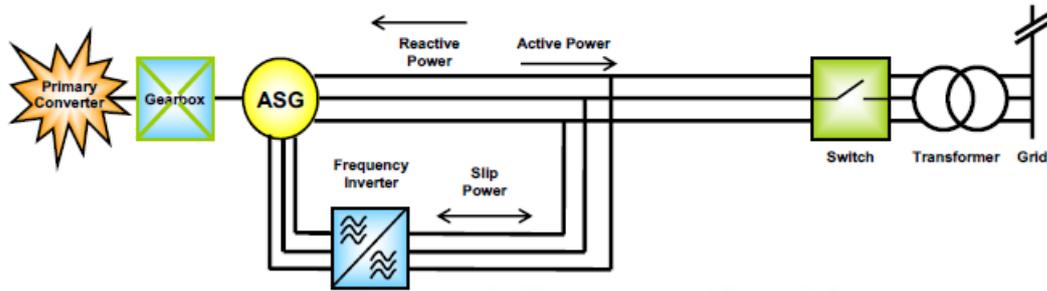
37) Zeichnen Sie eine drehzahlstarre Netzkopplung mit einem Synchrongenerator und benennen sie die einzelnen Komponenten



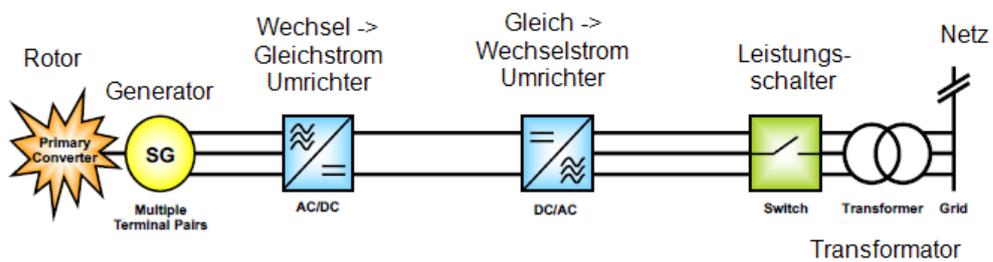
38) Zeichnen Sie eine drehzahlstarre Netzkopplung mit einem Asynchronmotor und benennen sie die einzelnen Komponenten.



39) Zeichnen Sie eine drehzahlvariable Netzkopplung mit einem doppelt gespeisten Asynchronmotor und benennen sie die einzelnen Komponenten.

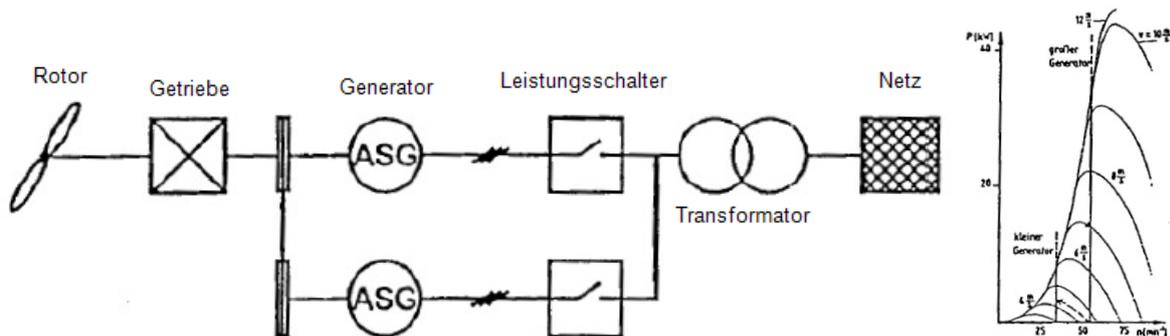


40) Zeichnen Sie das Enercon Konzept (drehzahlvariabel) und benennen Sie die Komponenten.



41) Zeichnen Sie ein dänisches Modell

- Direkte Netzeinspeisung → benötigt feste Drehzahl
- Keine Anpassung an die Windverhältnisse
- Leistungsbegrenzung durch Strömungsabriss am Rotorblatt gewährleistet (Stall-Regelung)
- 2 verschiedene Generatoren → es ergeben sich 2 verschiedene Arbeitsbereiche mit je einer optimalen Windgeschwindigkeit → umschaltbar



42) Wie viel Leistung fließt beim doppelt gespeisten Asynchronmotor über die bi-direktionalen Frequenzumrichter, in Abhängigkeit von P_N ? Wie heißt diese Leistung?

- Bis zu 30%, Schlupfleistung

43) Wie viel Leistung fließt bei Enercon durch den Wechselrichter? Wie heißt diese Leistung?

- 100%, Wirkleistung

44) Eine 25, 50 oder 100 Hz-Maschine wird dir angeboten, welche nimmst du und warum?

- Die 100 Hz-Maschine, da die Gleich- und Wechselrichter kleiner sind.

45) Welche drei Größen bestimmen die Drehzahl bei einer starren Kopplung mit einem Synchronmotor?

- Frequenz des Netzes
- Anzahl der Pole im Generator
- Drehmoment der Rotorwelle (abhängig vom Getriebe)

Sonstiges

46) Welche Punkte sind anfällig für strukturelle Belastungen?

- Rotorblätter
- Turm
- Fundament

47) Welche Belastungen können auftreten?

- Materialermüdung
- Schwingungen
- Sturm

48) Wieviel 1 kWh erzeugt aus Windenergie?

- 4-8 Cent (Onshore)

49) Welche Faktoren müssen für die Berechnung ein WKA berücksichtigt werden?

- Versicherung
- Grundstückskosten
- Geschäftsführung und Steuern
- Wartung
- Planung
- Fundament
- Netzanbindung