

Onlineklausur „Grundlagen Turbulenter Strömungen“ WiSe 2020/21

– Alle Lösungen natürlich ohne Gewähr –

Zeitbegrenzung: 1 h 30 min

Bei den Multiple-Choice-Fragen ist immer nur *eine* Antwort richtig.

Meine Antwort ist **fett markiert**.

3. Wir berechnen die Strömung eines Freistrahls bei sehr hohen Reynoldszahlen mit LES (Smagorinsky-Modell) und RANS (k-omega-Modell). Aus den LES-Ergebnissen berechnen wir uns das mittlere Feld und vergleichen es mit dem mittleren Feld der RANS-Lösung und mit Messungen. Welche Aussage trifft zu?

- a) **RANS- und LES-Ergebnisse stimmen überein. Die LES liefert aber noch zusätzliche Informationen.**
- b) RANS-Ergebnisse sind näher an den gemessenen Mittelwerten als die LES-Ergebnisse.
- c) LES-Ergebnisse sind näher an den gemessenen Mittelwerten als die RANS-Ergebnisse.

4. Warum ist die Dissipationsrate die einzig wichtige Größe im inertialen Zwischenbereich?

- a) **Weil es der Menge an Energie entspricht, die hier übertragen wird.**
- b) Weil hier sämtliche Energie dissipiert.
- c) Weil hier die Produktion gleich der Dissipation ist.

6. Für eine LES müssen die gefilterten Navier-Stokes-Gleichungen gelöst werden. Worüber wird die Art des Filters definiert?

- a) Über die numerische Gitterweite
- b) **Über die Wahl des Modells für τ_{ij}^R**
- c) Über die Definition der Filteroperation

7. Um aus der Autokorrelation Strukturlängen zu bestimmen kann die Taylorhypothese angewendet werden. Für welche Strukturlänge ist die Taylorhypothese eher valide?

- a) Taylor-Mikroskala
- b) Kolmogorov-Skala
- c) **Integrale Strukturlänge**

8. Im k-omega-Turbulenzmodell müssen die k- und omega-Transportgleichung gelöst werden. Für welche Terme der k-Gleichung müssen noch weitere Modellgleichungen gefunden werden?

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial k}{\partial t} + \overline{v_j} \frac{\partial k}{\partial x_j} = P + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\frac{1}{2} \overline{v_i' v_i' v_j'} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{v_j' p'}}{\partial x_j} + \overline{v c_i' \frac{\partial^2 c_i'}{\partial x_j^2}}$$

- a) Produktion
- b) Konvektion
- c) Instationarität
- d) **Umverteilungsterm und Dissipation**

9. Was ist die bestimmende Längenskala für die Gittererstellung bei einer DNS-Simulation?

- a) Mittleres Feld und geometrische Randbedingungen
- b) Strukturlängen des inertialen Zwischenbereichs

c) Kolmogorovlänge

10. Wo tritt Entrainment auf?

- a) **In einer Scherschicht**
- b) Im Kern des Freistrahls
- c) In einer isotropen turbulenten Strömung

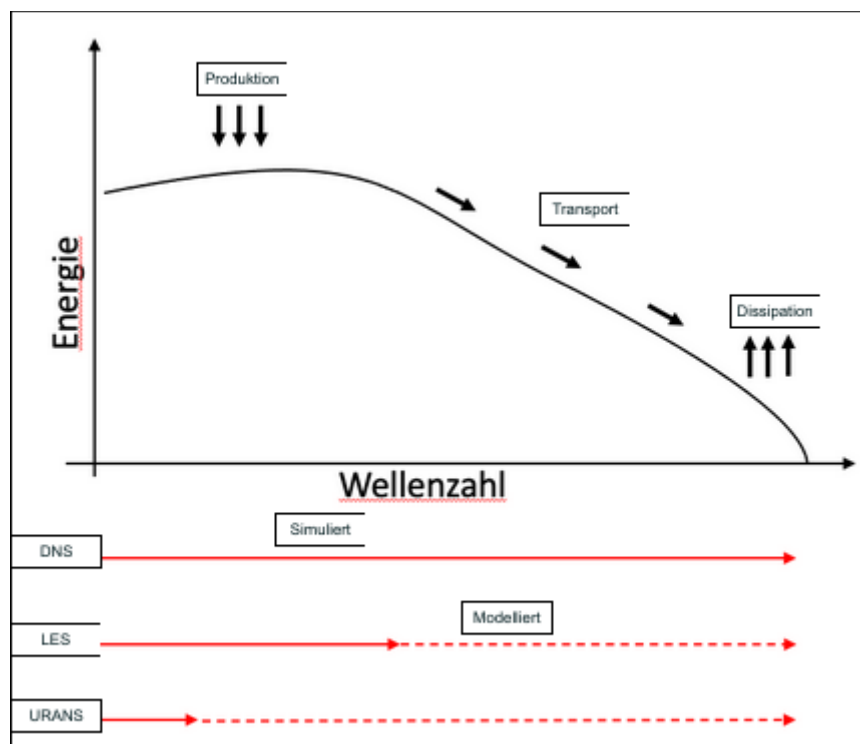
11. Ist der Schwankungsanteil in der Reynoldszerlegung klein gegenüber dem Mittelwert?

- a) Ja, turbulente Schwankungen sind grundsätzlich geringer als die mittlere Geschwindigkeit
- b) nein, Reynoldsspannungen können trotzdem vernachlässigt werden
- c) **nein, aber die Annahme wird in der Reynoldszerlegung trotzdem gemacht.**
- d) Manchmal, aber selten

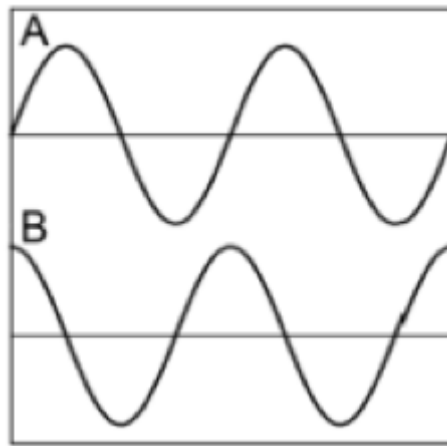
12. Was ist eine Eigenschaft der Turbulenz?

- a) Zweidimensional
- b) isotrop
- c) translationsinvariant
- d) **dreidimensional**
- e) stationär

13. Gegeben ist ein schematisches Spektrum der turbulenten kinetischen Energie. Schieben Sie die Label für die Produktion, Dissipation, Transport an ihre entsprechende Stelle im Bild. Die unteren roten Pfeile sind nach „simulieren“ und „modellieren“ zu unterscheiden und die Arten von Simulationen entsprechend zu kennzeichnen.



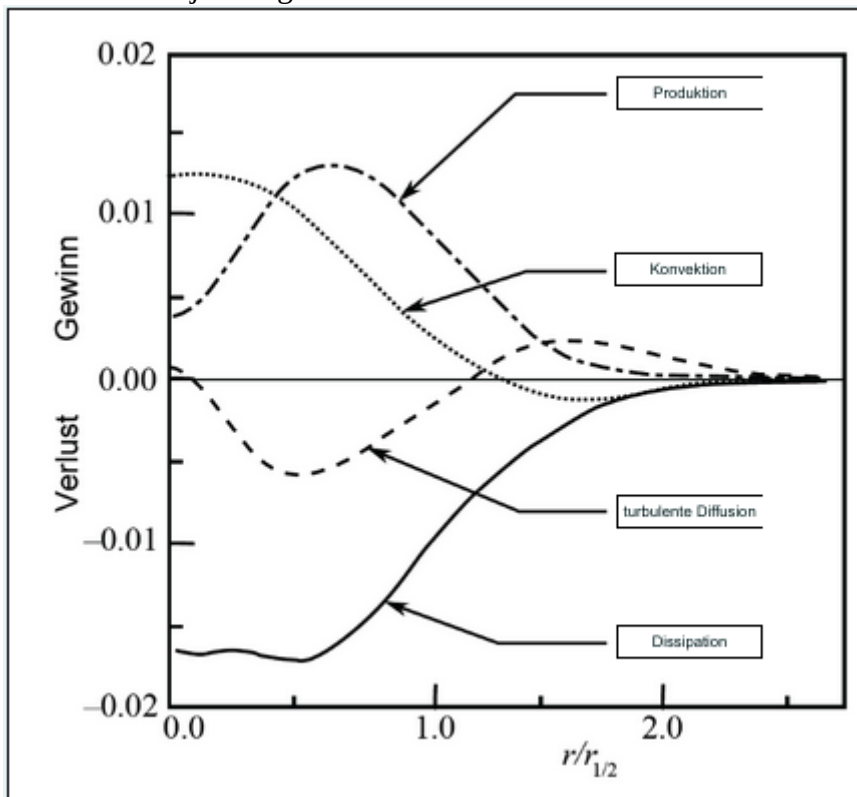
14. Sind die Signale A und B korreliert zueinander?



- a) Ja, sie sind positiv korreliert
b) nein
 c) ja, sie sind negativ korreliert
15. Wie viele Sonden sind für eine Autokorrelation nötig?
 a) Eine traversierbare Sonde
 b) mindestens zweidimensional
c) eine
16. Es soll im Kern eines turbulenten Freistrahls die Turbulenzintensität bestimmt werden. Welchen Mittelwert wählen Sie?
a) Zeitlicher Mittelwert
 b) Phasenmittel
 c) Ensemblemittelwert
 d) Phasenmittelwert
17. Wo tritt isotrope Turbulenz auf?
 a) Im Freistrahls
 b) in Grenzschichten
 c) in Scherschichten
 d) in einer laminaren Ablöseblase
e) annähernd hinter einem Gitter
18. Am Rande eines Freistrahls wird die Turbulenzintensität mit einem zeitlichen Mittelwert und einem konditionierten Mittelwert berechnet. Der zeitliche Mittelwert...
 a) überschätzt die Turbulenzintensität
b) unterschätzt die Turbulenzintensität
 c) überschätzt die turbulente Dissipation
19. Welche turbulenten Strömungstypen treten am Tragflügel mit Strömungsablösung auf?
a) Nachlaufströmung
 b) isotrope turbulente Strömung
 c) Drallströmung
 d) homogene turbulente Strömung
20. Welche Terme sind in der Energiegleichung die Quellen?
 a) Dissipation
b) Produktion
 c) Diffusion

d) Konvektion

21 Gegeben sind die Verläufe der Terme (Produktion, Dissipation, Diffusion, konvektiver Transport) der Energiegleichung für einen Freistrahel im selbstähnlichen Bereich. Ziehen Sie die entsprechenden Labels auf die jeweilige Kurve.



22. Wir betrachten den turbulenten Freistrahel im selbstähnlichen Bereich. Der Strahl weitet sich und die Masse, die durch den Strahl mitgeführt steigt mit der Lauflänge an. Aufgrund der Impulserhaltung des Strahls lassen sich Ähnlichkeitslösungen herleiten. Erläutern Sie die Herleitung der Skalierungsgesetze in Worten!

Für die Charakteristische Länge und Geschwindigkeit wird ein Potenzansatz in Abhängigkeit von der Lauflänge des Strahls angenommen. Der Exponent des Potenzansatzes ist zunächst noch unbekannt.

Die Potenzansätze werden dann in die Grenzschichtgleichungen eingesetzt. Aus der Bedingung der Selbstähnlichkeit lassen sich Aussagen über das Verhalten der Grenzschichtgleichungen treffen, mit deren Hilfe die unbekanntenen Exponenten bestimmt werden.

23. Wie ändern sich die Strukturlängen bei Erhöhung der turbulenten Reynoldszahl?

- a) **Integrale Strukturlänge wird größer**
- b) Taylor-Mikrostrukturlänge bleibt gleich
- c) Taylor-Mikrostrukturlänge wird kleiner

24. Welche Eigenschaften hat die Scherturbulenz bzw. welche strömungsmechanischen Effekte treten auf?

- a) Zweidimensional

- b) Isotropie
- c) keine Umverteilung
- d) kohärente Strukturen**
- e) Normalverteilte statistische Momente

25. Welche Aussage trifft auf das dissipative Spektrum zu?

- a) Befindet sich im Bereich kleiner Wellenzahlen
- b) Dissipation übersteigt Energieübertragung zu höheren Wellenzahlen**
- c) Produktion steigt hier wieder an

26. Wie kann ein Wellenzahlspektrum gemessen/berechnet werden?

- a) Zeitliche Fouriertransformation und räumliches Mitteln**
- b) Zeitliche Fouriertransformation und Taylor-Approximation
- c) Räumliche Mittelung

27. Wo tritt Intermittenz auf?

- a) In laminarer Strömung
- b) beim laminar-turbulenten Umschlag**
- c) in jedem turbulenten Signal
- d) im Kern des Freistrahls

28. Welche Simulationsmethode kann genutzt werden, um die ersten 4 Zentralmomente zu bestimmen?

- a) RANS**
- b) DNS-Simulation
- c) URANS

29. Wir betrachten den selbstähnlichen Bereich eines turbulenten Freistrahls. Wir wissen, dass dort alle turbulenten Skalen selbstähnlich sind. Wir wissen, dass die charakteristische Länge mit x und die charakteristische Geschwindigkeit mit $1/x$ skaliert. Wir wollen nun DNS, LES und RANS machen und müssen uns überlegen wie wir das Feld numerisch diskretisieren. Bitte erläutern Sie dazu:

- (a) welche Skalen von den jeweiligen Verfahren berechnet werden müssen und welche modelliert werden
- (b) wie diese Skalen mit x variieren
- (c) und wie sich daraus unser jeweiliges Rechengitter ergibt

RANS (ohne U) berechnet nur das mittlere Feld und keine Turbulenz. Diese wird in allen Skalen komplett modelliert. Das mittlere Strömungsfeld wird mit zunehmendem x langsamer (Skalierung mit $1/x$). Daher kann ein grobes Rechengitter verwendet werden, das mit zunehmendem x gröber werden kann.

LES berechnet die großen, energietragenden Wirbel, die kleinen, dissipativen Skalen werden dagegen modelliert. Die die energietragenden Skalen beschreibende integrale Strukturgröße wird mit zunehmendem x kleiner (Skalierung mit $1/x$). Daher kann ein mittelmäßig grobes Rechengitter verwendet werden, das mit zunehmendem x feiner wird, um die energietragenden Wirbel noch zu erfassen.

DNS berechnet alle Skalen, auch die kleinen, dissipativen. Die kleinen Skalen wachsen mit zunehmendem x linear an. Daher sollte ein feines Rechengitter gewählt werden, das aber mit zunehmendem x linear gröber werden darf, um die wachsende Mikrostrukturgröße abzubilden.

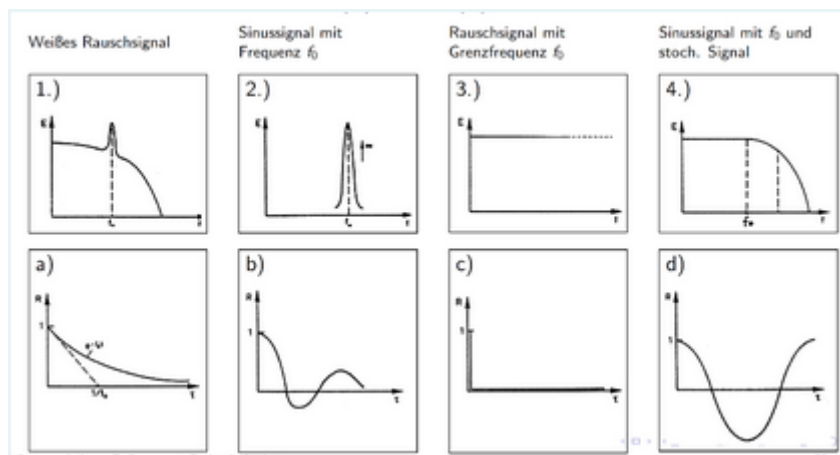
30. Was folgt aus der Nichtlinearität der Navier-Stokes-Gleichungen?
- Strömung ist unabhängig von sich ändernden Randbedingungen.
 - laminare Strömungen können nicht beschrieben werden.
 - Strömung kann durch statistische Mittelwerte beschrieben werden.**
 - Strömungen werden nicht genau beschrieben.
31. Wir betrachten eine ebene Scherschicht, welche Vereinfachungen lassen sich annehmen?
- Die statistischen Momente sind normalverteilt.
 - Das mittlere Feld ist zweidimensionale.**
 - Die turbulenten Normalspannungen sind alle gleich.
 - Eine Reynoldssche Normalspannung kann auf null gesetzt werden.
 - Der Reynoldsspannungstensor kann nicht vereinfacht werden.
32. Was muss bei der LES-Simulation mit Smagorinsky-Modell eines turbulenten Freistrahls beachtet werden?
- Mit höheren Reynoldszahlen muss das Gitter verfeinert werden.**
 - Die molekulare Viskosität muss vorgegeben werden.
 - Die turbulente Scheinviskosität muss vorgegeben werden.
33. Was wird benötigt, um statistische Momente zu berechnen?
- Messdaten, die zeitlich hoch aufgelöst sind
 - räumliche Mittelwerten
 - Messdaten, die zu beliebigen Zeitpunkten aufgenommen wurden**
 - zeitliche Mittelwerte
34. Wie viele Unbekannte und Gleichungen haben die inkompressiblen Reynoldsgleichungen?
- 6 Gleichungen und 3 Unbekannte
 - 4 Gleichungen und 10 Unbekannte
 - 3 Gleichungen und 8 Unbekannte**
 - 4 Gleichungen und 5 Unbekannte
35. Was ist die Reynoldszerlegung?
- Zerlegung in Integrale Strukturlänge und Taylor-Mikrostrukturlänge
 - Einteilung in eingefrorene und nicht-eingefrorene Turbulenz
 - Zerlegung in zeitlichen Ensemblemittel und Schwankungswert**
 - Zerlegung in periodischen und stochastischen Anteil
36. Welche Vereinfachung wird unter anderem bei der Taylor-Hypothese getroffen?
- Laminarströmung
 - geringe mittlere Bewegung
 - keine Produktion**
 - stationäre Strömungen
 - Diffusion klein gegenüber Produktion
37. Wir wollen die Strukturlängen aus dem Energiewellenzahlspektrum berechnen. Welche Aussage ist korrekt?
- Aus dem Integral des dissipativen Wellenzahlspektrums kann die Taylor-Mikrostrukturlänge berechnet werden.
 - Aus dem Integral des Energiewellenpektrums kann die Taylor-Mikrostrukturlänge berechnet werden.**

- c) Aus dem Grenzwert ω gegen unendlich kann die Kolmogorov-Skala berechnet werden.
38. Was ist ein Vorteil von RANS-Modellen zweiter Ordnung gegenüber Modellen erster Ordnung?
- Kein isotroper Ansatz**
 - geringer Rechenaufwand
 - Gleichungen sind geschlossen
 - genauere Modelle für die Wirbelviskosität
39. Was ist eine Eigenschaft von isotroper Turbulenz?
- Nur turbulente Normalspannungen sind null.
 - Energie klingt zeitlich nicht ab.
 - Rotations- und translationsinvariant**
 - nur turbulente Schubspannungen sind nicht null
 - Dissipationsrate ist größer null
40. Was ist eine Eigenschaft von isotroper Turbulenz?
- Energie klingt zeitlich nicht ab
 - nur turbulente Normalspannungen sind null
 - nur turbulente Schubspannungen sind null
 - Umverteilung ist null**
 - rotations- und translationsinvariant
41. Wo werden durch die Anwendung des Boussinesq-Ansatzes die kleinsten Fehler gemacht?
- in direkter Nähe eines Nachlaufströmung
 - in einer Grenzschichten
 - im Fernfeld eines Nachlaufs
42. Es soll in der Scherschicht zwischen Freistrah und umgebendem Fluid die Turbulenzintensität bestimmt werden. Welchen Mittelwert wählen Sie?
- konditionierter Mittelwert**
 - Phasenmittelwert
 - Ensemblemittelwert
 - zeitlicher Mittelwerte
43. Aus der Kreuzkorrelation kann eine Transportgeschwindigkeit bestimmt werden, zu welcher Strukturlänge korrespondiert diese?
- Kolmogorov-Länge
 - Taylor-Mikrostrukturlänge
 - Integrale Strukturlängen**
44. Sie wollen die Reynoldszerlegung von Strömungsdaten machen. Nennen Sie ein Beispiel einer Strömung, in der ein konditionierter Mittelwert einem zeitlichen Mittelwert zu bevorzugen ist und begründen Sie!

In der Scherschicht eines turbulenten Freistrahls kommt es zu Entrainment. Dadurch wechseln sich laminare und turbulente Bereiche ab. Ein zeitlicher Mittelwert würde hier die turbulenten

Größen unterschätzen, weil sie im laminaren Bereich 0 sind. Der zeitliche Mittelwert würde dann weder die laminaren Bereiche beschreiben (wo ja keine Turbulenz auftritt) noch die turbulenten Bereiche (wo die turbulenten Größen stärker sind als der Mittelwert es scheinen lässt).

45. Welche Aussage trifft auf den inertialen Zwischenbereich zu?
- Die Viskosität ist hier die wesentliche Kennzahl.
 - Liegt im Bereich kleiner Wellenzahlen
 - Erstreckt sich für größere Reynoldszahlen über einen größeren Wellenzahlbereich**
 - ist von externen Randbedingungen abhängig
46. Welche Terme in der Energiegleichung sind Senken?
- Diffusion
 - Konvektion
 - Produktion
 - Dissipation**
47. Welche Kombination aus Überschrift, Spektrum und Korrelation gehören zusammen?



Sinussignal – 2 - D

Welche Annahmen gelten für diese Form der Navier-Stokes-Gleichungen?

$$\frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{v}$$

- linear
 - zweidimensional
 - nichtlinear**
 - kompribibel
 - laminar
49. Welche Aussage trifft für einen Freistrahel bei einer Erhöhung der Reynoldszahl von $Re_D = 10\,000$ auf $Re_D = 20\,000$ zu?
- Kolmogorov-Länge wird kleiner
 - Taylor-Microscale wird kleiner
 - Strahlaufweitung bleibt gleich**
 - Integrale Strukturlänge wird größeren
50. Was ist eine Eigenschaft von homogener Turbulenz?
- Rotationsinvariant
 - turbulente Schubspannung gleich 0
 - Produktion gleich null
 - turbulente Normalspannungen und turbulente Schubspannungen konstant**

e) translationsinvariant

51. Was sind die Vorteile von Zweigleichungsmodellen gegenüber algebraischen Modellen?

- a) **Berücksichtigung von globalen Transportprozessen**
- b) keine empirischen Konstanten
- c) Gleichungssystem geschlossen