

Fragen und Antworten zu Konstruktiver Leichtbau bei Professor Schürmann

Kapitel 1

1. Wie ist der Stellenwert des Leichtbaus in den verschiedenen Disziplinen des Transportwesens ?

Zunehmende Wichtigkeit etwa in der Reihenfolge:

1. Wasserfahrzeuge
2. Landfahrzeuge
 - Schiene
 - Motorisierte Straßenfahrzeuge
 - Muskelkraftbetriebene Fahrzeuge
3. Flugzeuge
4. Raumfahrt

Entsprechend etwa zunehmender Massenabhängigkeit des Energiebedarfs und der Nutzbarkeit im Betrieb.

Ebenso entsprechend zunehmender Bereitschaft ein Leichtbau zu investieren.

Stichwörter: Lifecycle Costs, Energiebedarf/Kg Masse.

Design to Cost z.B. Nutzfahrzeuge

Design to Weight z.B. Rennwagen, Raumfahrt

2. Warum verursacht Leichtbau Mehrkosten ?

Höhere Kosten entstehen für

- Werkstoff
- Konzeption/Konstruktion
vor allem durch genaue Auslegung, aufwendige Nachweise
- Fertigung
- Erprobung

3. Inwieweit werden Mehrkosten infolge Leichtbaumaßnahmen akzeptiert ? Welcher Denk- und Argumentationsansatz ?

Meist nur wenn sie an anderer Stelle wieder eingespart werden können.

Durch Sekundärleichtbau z.B. Neoplan Bus: Leichtbaukarosse ermöglicht einsparen einer Achse => noch leichter => Weniger Antriebsleistung => insgesamt viel Kostengünstiger

Systemgedanke: Der Systempreis zählt! Bleibt er gleich bei geringerer Masse oder sinkt wird Leichtbau gewünscht.

Kosten über Lebenszyklus Bsp. LKW: Leichtbau steigert Nutzlast, senkt Spritkosten=> auch höhere Fahrzeugkosten amortisieren sich.

4. Welchen gesellschaftlichen Stellenwert hat der Leichtbau ? Welche Verantwortung resultiert daraus für den Ingenieur ?

Energie und Ressourceneinsparung wird immer wichtiger !

Gesamtenergiebilanz entscheidend

Größter Energiebedarf meist im Betrieb -> dort große Einsparung durch Leichtbau

Gesamtenergiebilanz spricht fast immer für die Leichtbaulösung

5. Listen Sie die prinzipiellen Möglichkeiten leicht zu bauen auf.

- Realistische Anforderungen
- Detaillierte Mechanische Analyse
- Werkstoffleichtbau
 - E/ρ und R/ρ \leftarrow ρ =Dichte sind Kenngrößen
 - Dichten von Werkstoffen [g/cm^3] Al = 2,85, Mg = 1,7, Ti = 4,5, St = 7,85, FKV 1,2 -1,6 sind ins Verhältnis zu setzen zu ihren Steifigkeiten /Festigkeiten !
- Verbundleichtbau (Sandwich,FKV)
- Konstruktiver Leichtbau
- Leichtbau durch geeignete Fügetechniken
- Geeignete Fertigungsverfahren
- Geringe Streuung der Festigkeitswerte

6. Welche Konkreten Möglichkeiten bietet der Konstruktive Leichtbau ?

Bemühen durch Geometriegestaltung und Kraftaufteilung hohes Tragvermögen einer Struktur bei minimalen Werkstoffeinsatz zu erzielen. Meißt größte Masseneinsparungen aller Leichtbaumethoden

- **Zentral: erst versuchen mit billigem Werkstoff auszukommen**
- Kraftflüsse auf direkten wegen aufnehmen und weiterleiten
- Materialstärken „folgen“ dem Spannungsniveau
- Hohl- statt Vollquerschnitte
- Kerben und Spannungsspitzen unbedingt vermeiden
- passende Bauweise wählen
z.B.hohe Biegesteifigkeit durch Sandwich
- Integrationsleichtbau: geschickte Integration mehrerer Funktionen in eine Struktur
- Möglichst alle Strukturteile an Lastaufnahme beteiligen,keine „Verkleidungen“

Leichtbau ist Optimierung eines Systems innerhalb von Randbedingungen

Kapitel 2

1. Welche Arten von Kräften gibt es ? Welche Eigenschaften/Bedeutung haben sie jeweils? Einteilung der Kräfte und Erläuterung ?

Unterteilbar nach geometrie auf die sie wirken und Bereich (Innen oder Außen)

Wirkt auf	Äußere Kräfte	Innere Kräfte
Fläche	Flächenlast	Spannungen
Linie	Linienlast	Normalfluss/Schubfluss
Punkt	Punktlast	(Schnittkraft / Schnittmoment)

Quer dazu liegende Kategorien:

Eingeprägte Kräfte: Durch Einwirkungen auf die Struktur

Reaktionskräfte: Als Reaktion der Struktur z.B. Lagerkräfte

Nahkräfte: Durch Kontakt übertragen

Fernkräfte: Durch Feld, z.B. Gravitationsfeld

Indizierung von Kräften,Spannungen usw.:

1. Index = Normalenrichtung der Fläche in der die Kraft wirkt

2. Index = Wirkrichtung der Kraft

Vorzeichenkonvention:

Vorraussetzung ist Rechtskoordinatensystem.

Positive Flüsse und Spannungen wirken in Richtung der positiven Koordinatenachsen,
Positive Momente drehen am positiven Schnittpunkt um die positiven Koordinatenachsen im Sinne einer Rechtsschraube (Korkenzieherregel)

2. Was bedeutet Linearität ? Beispiele ?

Linearer Zusammenhang zwischen Belastung und Verformung
Bezogen auf

Werkstoff: physikalische Linearität

Spannungen und Verzerrungen sind zueinander proportional, Abhängigkeit ist eine Konstante

Struktur: geometrische Linearität

Sofern nicht wirklich lineare Verformung z.B. Dehnstab, setzt geometrische L. Kleine Verformungen voraus, z.B. bei Biegung oder Bsp. Bild 2.5 Skript

3. Was bedeutet elastisches Werkstoffverhalten ?

Elastisch = Keine bleibende Verformung nach Entlastung

Ideal Elastisch = Belastung und Entlastung verlaufen auf gleicher Kurve

Linear und ideal Elastisch = lineares Elastizitätsgesetz / Hooke'sches Gesetz

4. Inwieweit ist die Thermische Ausdehnung ins Elastizitätsgesetz eingebunden ?

Lineares Elastizitätsgesetz impliziert auch lineare Beziehung zwischen Temperaturendeckung und Temperaturdifferenz. $\epsilon_T = \alpha_T \cdot \Delta T$

Einachsigt lautet das Elastizitätsgesetz dann

$$\epsilon = \sigma/E + \alpha_T \cdot \Delta T$$

5. Nennen Sie elementare Mechanische Strukturen, ihre Definition und ihre Belastung.

Nach Geometrie unterteilt:

- Längsträger
 - Stab (gerade)
 - Bogen (gekümmert)
 - Balken (auf Biegung belastet)
- Flächenträger
 - Platte (eben)
 - Schale (gekümmert, gewunden, gewölbt)
 - Scheibe (Spannungen nur parallel zur Oberfläche)

Nach Art der Beanspruchung

Zug/Druck-Strukturen:

Seile, Netze, Membranen

Zug/Druck+Schub-Strukturen:

Stäbe, Fachwerke, Scheiben, Membranschalen

Biege-Torsions-Strukturen:

Balken, Rahmen, Platten, Biegeschalen

zusätzliche Prüfungsfrage

6. Was sind Kräfte ?

(hat mich völlig perplex gemacht ;-))
Vektoren mit Betrag und Richtung
Angriffspunkt und Wirkungslinie

Kapitel 3

1. Welche Torsionsfälle sind elementar mit Hilfe der ETT lösbar ? Was sind die Voraussetzungen für die ETT ?

ETT= Elementare Torsions Theorie

Lösbar sind:

- dünnwandige geschlossene Hohlprofile
- Wellen mit Kreis und Kreisringquerschnitt (dickwandig)
- näherungsweise: dünnwandige offene Querschnitte

Voraussetzungen

- Gerade Stabachse
- keine Biege-Torsions-Kopplung
- keine Querschnittsverformungen
- Verformungen klein (geometrische Linearität) und
- Werkstoffe mit linearem Elastizitätsgesetz also Superpositionsprinzip anwendbar

7. Was versteht man unter Verwölbung ?

Verformung eines Profilquerschnittes so dass Querschnittspunkte aus der ursprünglichen Querschnittsebene heraustreten und zwar so, dass keine Ebene mehr aufspannbar ist
-> Bernoulli Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte ist dann nicht mehr gültig

8. Wie unterscheiden sich Saint Venant'sche und Wölb torsion ?

1. Saint Venantsche Torsion

- Zwangsfreie Drillung
- Verwölbung unbehindert => keine Längsspannungen

2. Wölb torsion

- Verwölbung geometrisch behindert
- Längsspannungen (sog. Wölbspannungen) treten auf
- allgemeinerer Fall, schließt 1 ein

beide gehören zur ETT. Deren Voraussetzungen siehe 2

9. Was stellt die I. Bredtsche Formel mechanisch gesehen dar ?

Eine Momentenäquivalenz aus äusserem Moment und den Schubflüssen (in einer Schnittfläche)

$$\mathbf{M}_T = 2 \mathbf{A}_m * \mathbf{n}_{xs}$$

Herleitung:

Kräftegleichgewicht am infinitesimalen Wandelement

Schubspannungen in der Schnittfläche nur in Umfangsrichtung wurde angenommen

=> Schubfluss über den Umfang konstant

Integration über den Umfang => I. Bredtsche Formel

10. Wie ist die Spannungsverteilung nach I. Bredtscher Formel ?

Der Schubfluss n_{xs} ist Konstant über den Querschnitt

daraus folgt: maximale Schubspannung an Stellen mit minimaler Wandstärke

$$\tau(s) = n_{xs} / t(s)$$

vgl. Hydrodynamische Analogon

In einem Rinnekanal ist die Strömungsgeschwindigkeit bei kleinster Breite am größten.

11. Welche in Längsrichtung leicht veränderliche Querschnitte sind mit der I. Bredtschen Formel berechenbar ?

Geschlossene dünnwandige Stäbe deren Mantelflächen konisch zulaufen und sich in einem Punkt schneiden.

Also Kegel / Kegelstumpf ja aber Keil mit Rechteckquerschnitt nicht

Bei anderen Profilen trifft Annahme der Wölbfreiheit und des konstanten Schubflusses nicht zu

12. Definition der Verdrehung, Definition der Drillung ?

Verdrehung: Winkeländerung eines Querschnitts (Bezeichnung $v = \Theta$)

Verdrillung = Verwindung: Änderung des Verdrehwinkels über eine Stablängeneinheit

Ableitung von Θ nach Stablängskoordinate x

also eine bezogene geometrieabhängige Verformungsgröße ähnlich der Dehnung

wenn $v' = \text{const}$ dann ist $v(x) = v' \cdot x$

13. Wie ist die Spannungsverteilung über einen tordierten Kreisquerschnitt ?

Achtung: Kreisquerschnitt nicht dünnwandiger Kreisring

Linear mit dem Radius nach außen zunehmend $\tau(r) = k \cdot r$

Maximale Spannung tritt also am Rand auf.

Konstante k kann aus I. Bredtscher Formel (Momentenäquivalenz) berechnet werden.

(Aus linearer Verformungshypothese: Punkte die auf einer Gerade in Profillängsrichtung lagen sollen auch in verformten Zustand auf einer Geraden liegen.)

14. Welches Ergebnis liefert die I. Bredtsche Formel, welches Ergebnis die II. Bredtsche Formel ?

- I. Bredt'sche Formel liefert Zusammenhang zwischen konstanten Schubfluss über einen Querschnitt und dem äusseren Moment

$$M_T = 2 A_m \cdot n_{xs}$$

- II. Bredt'sche Formel liefert Zusammenhang zwischen Verdrillung und Moment

$$v' = \frac{M_T}{G I_T} = \frac{n_{xs}}{2 A_m G} \oint \frac{ds}{t(s)}$$

kommt aus Wölbfunktion und der Bedingung

dass der Querschnitt nicht auseinanderklaffen darf

15. Was versteht man unter Torsionsteifigkeit ?

Den Widerstand den ein Profil der Torsion entgegensetzt
Verhältniszahl zwischen Moment und Verdrillung
Nenner der II Bredtschen Formel
 $G \cdot I_T$ Produkt aus Schubmodul G und Torsionsmoment

16. Welche Parameter beeinflussen die Torsionssteifigkeit

Geometrie des Bauteils und Werkstoff
Geometrie
umschlossene Fläche geht quadratisch, die Wanddicken linear in T ein
Der Schubmodul geht linear ein.

17. Welche Profilquerschnitte verwölben sich nicht unter Torsion ?

Bei den geschlossenen Profilen

- Kreis
- Quadrat
- gleichseitiges Dreieck
- Polygone mit innerem Tangentenkreis
- spezielle Rechtecke mit $t_a/t_b = b/a$ (kurze Seite dickwandig, lange dünnwandig)

von den offenen Profilen

- X
 - T-
 - L-Profil
- da sie jeweils nur zwei Geraden enthalten die immer eine Ebene aufspannen => definitionsgemäß keine Verwölbung möglich.

18. Welchen Ansatz macht man um dünnwandige offene Rechteck-Querschnitte näherungsweise zu berechnen ?

Das Profil wird als Zusammensetzung aus dünnwandigen geschlossenen Profilen gedacht (Zwiebelschalenprinzip :-))
die dünnwandigen Rechteckprofile werden in ineinanderstehende geschlossene Profile zerlegt
Alle müssen gleiche Drillung erfahren (Kompatibilitätsbedingung)
=> lineare Spannungsverteilung über den Querschnitt
Das Torsionsflächenmoment des dünnwandigen offenen Querschnitts ist von der Geometrie unabhängig !
Bestimmend ist der Querschnitt, der sich einfach als Summe der Gesamtquerschnitte ergibt.
 $I_T = I \cdot t^3 / 3$
Maximale Schubspannungen treten aussen an den Stellen mit größter Wanddicke auf.

19. Wie ergibt sich das Torsionsflächenmoment aus für ein aus mehreren Rechteckprofilen zusammengesetztes Profil ?

Durch aufsummieren der einzelnen Torsionsflächenmomente und die Verwendung von Korrekturfaktoren für die Profilform.
Die Korrekturfaktoren repräsentieren dabei die Verformungsbehinderungen an den Verzweigungen und Ecken des Querschnitts
Sie haben Werte von 0,99 für L-Profil bis 1,3 für I-Profil

20. Vergleichen sie ein offenes und ein geschlossenes Profil bezüglich des Torsionsflächenmomentes und bezüglich der Höhe der Torsionsspannungen.

Offenes Profil	Geschlossenes Profil
<ul style="list-style-type: none"> • Torsionsspannung viel größer • Querschnittsfläche bestimmt Torsionssteifigkeit • Lineare Spannungsverteilung über Dicke der Wandung • größte Spannungen aussen an dickwandigster Stelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Torsionsspannungen geringer • Umschlossene Fläche bestimmt Torsionssteifigkeit • Größte Schubspannung an dünnster Stelle • konstante Schubspannung über die Wandstärke • Für Torsion verwenden ! • Aber Vorsicht: Gefahr bei Fügungsversagen => Profilöffnung=> Totalversagen der Struktur

21. Welchen Ansatz macht man zur Berechnung von tordierten Rechteck-Vollquerschnitten ?

Berechnung für dünnwandige schlanke Rechteck-Querschnitte wird verwendet und mit Korrekturfaktor versehen

Korrekturfaktor hängt von h/b ab

beliebige Vollquerschnitte werden mit Abschätzformel nach Saint-Venant gerechnet

22. Welche Einschränkungen hat die Abschätzformel nach Saint-Venant ?

Sie gilt nicht für:

- Hohlquerschnitte
- Profile mit konkav berandeten Querschnitten

23. Welche Analogien zur Beschreibung des Schubflusses bzw. der Schubspannungen in tordierten Profilen gibt es? Welche Erkenntnisse lassen sich daraus ziehen ?

Hydrodynamische Analogon

- Stationäre Rotationsströmung in einem Gefäß mit Querschnittsform wird betrachtet (bei Hohlquerschnitten Ringkanal)
- Geschwindigkeit v entspricht der Spannung
- Stromlinien entsprechen Linien konstanter Spannungen

Nützlich primär zu Veranschaulichung

Führt auf Gestaltungsregel: Ecken abrunden durch Vergleich mit Totwassergebiet an Ecken.

Seifenhautgleichnis

- Ein Behälter unter Innendruck hat ein Loch in Profilform über das eine Seifenhaut gespannt ist
- Verschiebung der Seifenhaut proportional der Torsionsfunktion

- Volumen unter der Seifenhaut proportional Torsionsflächenmoment, bei zweifacher Berandung ist das Volumen unter der verschieblichen Platte mitzurechnen (siehe Bilder im Skript 3.10.2)
- Die Neigung der Seifenhaut entspricht der Größe Schubspannungen
- Die Niveaulinien geben Linien gleicher Schubspannung wieder

Ebenfalls für Anschauung nützlich aber auch:

Quantitative Werte erhält man, wenn sich im gleichen Gefäß – d.h. unter exakt gleichem Innendruck – eine Öffnung mit einem analytisch exakt lösbaren Querschnitt befindet z.B. Kreisprofil

24. Was sind Wölbspannungen ?

- Längsspannungen die bei Wölbungsbehinderungen auftreten
- Eigenkraftgruppen d.h. die Summe der Schnittkräfte über der Querschnitt ist 0
- Erklärbar als Kräfte die versuchen die freie Verwölbung einzustellen

Wölbungsbehinderung kann auftreten durch

- Einspannung oder Krafteinleitung
- Querschnittsänderungen
- Streckentorsionsmomente
- Änderung des Werkstoffs

25. Was versteht man unter Wölbsteifigkeit ?

Wölbsteifigkeit = $E \cdot C_W$

mit E = Elastizitätsmodul = Werkstoffabhängigkeit

und C_W Wölbwiderstand = Geometrieabhängigkeit

Bild S. 49 Skript

$T_W = -\nu''' \cdot E \cdot C_W$

26. Wovon ist die Höhe der Wölbkrafttorsion abhängig ?

Vom Verhältnis zwischen Wölbsteifigkeit $E \cdot C_W$ und Torsionssteifigkeit $G \cdot I_T$

Großere Wölbsteifigkeit \rightarrow größere Wölbsteifigkeit \rightarrow größere Wölbkrafttorsion

(langsames Abklingen über die Profillänge)

An einer konkreten Stelle ist sie abhängig vom Abstand zur Einspannstelle und dem Verhältnis der Materialkennwerte E/G

27. Welche Profilgeometrien haben keinen Wölbwiderstand ?

Solche die keine Verwölbung zeigen

Bei den geschlossenen Profilen

- Kreis
- Quadrat
- gleichseitiges Dreieck
- Polygone mit innerem Tangentenkreis
- spezielle Rechtecke mit $t_a/t_b = b/a$ (kurze Seite dickwandig, lange dünnwandig)

von den offenen Profilen

- X
- T-
- L-Profil

da sie jeweils nur zwei Geraden enthalten die immer eine Ebene aufspannen \Rightarrow definitionsgemäß keine Verwölbung möglich.

(bei geschlossenen Profilen ist die Verwölbung oft vernachlässigbar da Wölbspannung rasch abklingt wegen des hohen Torsionswiderstandes)

28. Wie geht man die Zielsetzung an torsionssteif zu bauen, wie torsionsweich ?

Torsionssteif:

geschlossenes Profil, optimal Kreisprofil

sonst

offenes Profil mit hoher Wölbsteifigkeit, optimal Z-Profil

offenes Profil möglichst Lokal schließen: Torsionskasten, Torsionsröhrchen

Torsionsweich:

offenes Profil, am besten wölbfreies

sonst

geschlossenes Profil mit möglichst geringer umschlossener Fläche

S.54 Skript

Prüfungsfragen

29. Wie ist der Schubfluss durch Torsion in geschlossenen mehrzelligen Profilen qualitativ, wie ist der Rechenweg dazu, wo steckt dabei das Materialgesetz ?

Schubfluss in den einzelnen Zellen konstant, in den Stegen Differenz der Schubflüsse der einzelnen Zellen,

Rechenweg:

aus Statik Momentengleichgewicht Gesamtmoment = Summe der Momente der Einzelzellen

Elastostatik: II. Bredt'sche Formel liefert jeweilige Drillung in Abhängigkeit vom Moment

Kompatibilitätsbedingung: Drillung der Zellen muss gleich sein

=> Gleichungssystem mit n Gleichungen für n Schubflüsse = lösbar

Materialgesetz steckt in 2. Bredt'scher Formel

30. Welche offenen Profile sind nicht wölbfrei ?

U, Z, I Profile

31. Wie ist die Wölbsteifigkeit definiert?

$$L_w = \sqrt{\frac{E I C_w}{G I_T}}$$

Mit Zähler Wölbsteifigkeit und Nenner Torsionssteifigkeit

Kapitel 4 Schub im dünnwandigen Balken infolge Querkraft

1. Was verstehen sie unter der Navier'schen Gleichung?

Naviersche Formel ist eine Gleichung zur Berechnung der Normalspannungen infolge Biegung und Längskraft nach dem Superpositionsprinzip.

$$\sigma_{\text{normal}} = \frac{N_x}{A} + M_y \cdot \dots - M_z \cdot \dots \quad \dots = \text{Trägheitsmomente}$$

Aus ihr und dem Schubspannungsverlauf des Balkens wird die Kusinenformel abgeleitet

32. Was verstehen sie unter der Schwereachse, was unter den Hauptachsen eines Balkens? Wie ermittelt man die Hauptachsen ?

Schwereachse=Kette aller Schwerpunkte der Querschnittsflächen => statisches Moment bezüglich dieser Achse ist Null

Hauptachsen: Deviationsmoment bezüglich dieser Achsen wird zu Null, Schubspannungen verschwinden. Normalspannungen sind dann Hauptspannungen (Biegung erzeugt keinen Schub)

Symetrieachsen sind immer auch Hauptachsen, Biegungen um die Hauptachsen sind voneinander entkoppelt

Bestimmung entweder über Symetrieachsen oder rechnerisch über Nullsetzen des Statischen bzw. des Deviationsmomentes

Siehe auch Mohrscher Kreis/Koordinatentransformation damit

33. Wie sind die Flächenträgheitsmomente I, wie die statischen Momente S definiert?

$$I_y = \int z^2 dA \quad I_z = \int y^2 dA \quad I_{yz} = \int yz dA$$

Biege widerstandsmoment = Integral über Schwerpunktskoordinate zum Quadrat * Fläche
Indizierung immer „vertauscht“ wegen Drehachsenbezeichnung <=> relevante Koordinate senkrecht dazu

$$S_y = \int y dA \quad S_z = \int z dA$$

Fläche mal Hebelarm

34. Woraus ergibt sich die Integrationskonstante der Kusinenformel bei dünnwandigen offenen Profil ?

Integrationskonstante ergibt sich aus Schubfluss = 0 am Rand wegen Kräftegleichgewicht

35. Nennen sie Ort und Höhe des maximalen Schubflusses beim dünnwandigen offenen Rechteck-Profil.

In der Mitte (Schnittpunkt des Profils mit der Biegeachse) ist die Spannung am höchsten

$$\tau_{max} = 1,5 \frac{Q_z}{A}$$

parabelförmiger Verlauf

36. Wie ist der Schubmittelpunkt definiert?

Querkraft greift im SMP an -> Querkraft erzeugt kein Torsionsmoment

Querkraftbiegung und Torsion sind dann entkoppelt

Bestimmung über Momentenäquivalenz zwischen Querkraft*Hebelarm und Moment aus Schubfluss. Bezüglich SMP sind beide genau gleich.

SMP ist belastungsunabhängig, nur Geometrieabhängig

37. Wo liegt der Schubmittelpunkt beim einfach-symmetrischen, wo beim doppelsymmetrischen Profil?

SMP liegt immer auf Symmetrieachse(n)

38. Wo liegt der Schubmittelpunkt beim geschlossenen Kreisprofil, beim Winkelprofil und beim U-Profil?

Kreisprofil => im Kreismittelpunkt

L-Profil => je nach Abmessungen innen im L bis auf der Ecke des L

U-Profil => auf Symmetrieachse wenn vorhanden, ausserhalb des Profils !

39. Nennen Sie Prinzip und Sinn des Hydrodynamischen Analogons beim Querkraftschub.

Prinzip:

Vergleich mit Strömung in Kanal mit Profilform

Quellen dort wo in Axialer Richtung Zug auftritt,

Senken dort wo Druck auftritt,

Schubfluss entspricht dem Durchsatz/Durchfluss im Kanal

Bei Verzweigungen Addition/Aufteilung der Flüsse

Sinn:

Qualitativen Eindruck von den Flüssen geben,

Richtung des Flusses angeben

40. Wie groß ist die Überhöhung des Querkraftschubs beim Voll-Rechteckquerschnitt, wie beim Vollkreisquerschnitt ?

Rechteckquerschnitt 50%

Vollkreisquerschnitt 33%

41. Wie sieht qualitativ der Schubspannungsverlauf nach Timoshenko aus? Geometrischer Einflussparameter ?

- Ungleichmäßiger Verlauf auch über die Breite des Balkens
- Überhöhung an den Aussenrändern
- besonders bei Flachen Rechteckquerschnitten
- Parameter h/b
- Berücksichtigung über Korrekturfaktor zur durchschnittlichen Schubspannung

42. Wie ist der Ansatz/Rechengang bei der Schubflussermittlung geschlossener Profile ?

Profil gedanklich schlitzen (vorteilhaft an Symmetrieachse)

$n_{xs}(s)$ wie bei offenem Profil über Kusinenformel berechnen

$n_{xs}(s=0) \neq 0$ Berechnung über Momentenäquivalenz mit Querkraft

43. Welchen Ansatz bildet man zur Ermittlung des Schubmittelpunktes beim einzelligen, geschlossenen Profil?

Momentenäquivalenz schon verbraucht -> 2. Bredtsche Formel, Drillung muss verschwinden weil ja keine Momente entstehen sollen

44. Wie ist die elastische Achse definiert?

Verbindungsline der Schubmittelpunkte

45. Wie ist der Gang der Rechnung bei querkraftbelasteten geschlossenen mehrzelligen Profilen ?

Zunächst wie bei einzelligen:

jedes einzelne gedanklich Schlitten, Schubfluss über Kusinenformel berechnen
(mit gesamten Q_z für jede Zelle)

Problem ist statisch unbestimmt -> Elastostatik

Momentenäquivalenz: Gesamtmoment = Summe der Einzelmomente -> 1 Gleichung

Drilling (aus II. Bredt'sche Formel) muss gleich groß bleiben (Kompatibilitätsbedingung)

-> n-1 Gleichungen

Gleichungssystem lösen

46. Wie hoch sind qualitativ die Schubflüsse in gemeinsamen Stegen?

Überlagerung der Schubflüsse der beiden angrenzenden Zellen (Differenz)

47. Welchen Ansatz macht man beim mehrzelligen, geschlossenen Profil zur Berechnung des Schubmittelpunktes?

Drilling aller Zellen muss verschwinden, es darf keine Torsion auftreten => n Gleichungen

48. Welchen Ansatz macht man zur Berechnung der Balkenabsenkung infolge Querkraftschub?

Bernoulli Hypothesen gelten nicht mehr -> ungleichmäßiger Schubspannungs und damit Schiebungsverlauf -> Querschnitte nicht mehr eben = Verwölbung

Vereinfachende Annahme: durchschnittliche Schiebung -> ebenbleiben der Querschnitte aber Querschnitte nicht mehr senkrecht zur Mittellinie

-> Neue Querschnittsgröße: Schubaufnehmende Querschnittsfläche

49. Welchen Ansatz macht man zur Ermittlung der Querschubzahl?

Man betrachtet die Energie die für die realen und für die vereinfachten Verformungen nötig ist.

Diese muss gleich sein, daraus errechenbar

Querschubzahl $\kappa = A/A_s$

mit

A unverformte Querschnittsfläche

A_s = Schubaufnehmende Fläche

50. Von welchen Parametern ist der Schubabsenkungsverlauf abhängig ?

Von der Belastung Q (~Integral der Querkraft und ~ Biegemoment)

Von Schubmodul und Querschnittsfläche ~ $1/G \cdot A$

~ κ -> Geometrieabhängigkeit

$W_{ges} = W_{bieg} + W_{schub}$

Prüfungsfragen

51. Wie bestimmt man den SMP an einzelligen, mehrzelligen usw. Profil ?

Bezugspunkt ist immer der Koordinatenursprung des Hauptachsensystems.

Offene Profile:

Aus Momentenäquivalenz (I. Bredt'scher Formel) zwischen Moment der Querkraft und dem Moment, das der Schubfluss ausübt. Es darf kein Torsionsmoment übrig bleiben.

Geschlossenes Profil:

Drillung muss 0 sein, unabhängig vom Betrag der Querkraft

Verwendet wird II. Bredt'sche Formel mit eingesetzter Kusinenformel (4.29 Skript) das dann nach Koordinaten aufgelöst.

Beim mehrzelligen Profil müssen alle Drillungen Null sein (II. Bredtsche Formel und Kusinenformel)

52. Welche Steifigkeiten gibt es ?

Steifigkeit hat Werkstoff und Geometrieanteil

Dehnsteifigkeit $E \cdot A$

Biegesteifigkeit $E \cdot I$

Schubsteifigkeit $G \cdot A_s$

Torsionssteifigkeit $G \cdot I_T$

Wölbsteifigkeit $E \cdot C_w$ mit $C_w =$ Wölbwiderstand

Plattensteifigkeit $K = E \cdot I^*$

53. Welche offenen Profile sind nicht wölbfrei ?

UZI

54. Welche Widerstandsmomente/Flächenmomente kennen sie ?

0. Ordnung: Fläche selbst $[m^2]$

1. Ordnung: Statisches Flächenmoment $S =$ Fläche \cdot Abstand des Schwerpunktes $[m^3]$

2. Ordnung: Flächenträgheitsmomente $I =$ Fläche \cdot Abstand zum Quadrat $[m^4]$

Bezüglich verschiedener Achsen oder Punkte

55. Welche Größen gehen in die Kusinenformel ein ? Wozu wird sie verwendet ?

Eingehen die Querkräfte Q_z und Q_y , Statische Momente S_y und S_z sowie Flächenträgheitsmomente I_y und I_z

Formel hier nur für Hauptachsensystem (gekennzeichnet durch Überstriche auf x und y)

$$n_{xs} = - Q_z \frac{S_y}{I_y} - Q_y \frac{S_z}{I_z} n_{xs_0}$$

Um den Schubflussverlauf $n_{xs}(s)$ in einem dünnwandigen offenen Profil zu berechnen

Durch gedankliches Öffnen des Profils auch für das geschlossene verwendbar, dann noch mit

überlagerung des Konstanten Flusses aus Torsion oder Querkraft die ausserhalb des SMP angreift

Kapitel 5 Einführung in die Schubfeldtheorie

1. Welches Bauprinzip liegt der Schubfeldtheorie zugrunde?

Prinzip der Aufgabenteilung

Gurte übernehmen nur Zug/Druck, Steiner Anteil zählt

Schubfeld übernimmt den näherungsweise konstanten Schubfluss

=> Gute Werkstoffausnutzung wird erkennbar

56. Vergleichen sie die Bauweise mit dem Fachwerk

Schubfeld entspricht in der Aufgabe den Diagonalstäben.

Kann aber gleichzeitig die Aufgabe einer Verkleidung übernehmen

z.B. Flugzeugaussenhaut, Wandkonstruktionen im Bauwesen

57. Welche Aufgabenteilung liegt vor?

Gurte (längsorientiert) und Pfosten (quer) übernehmen Zug und Druck

Biegung wird in Zug/Druck in den Gurten und Schub im Schubfeld zerlegt

Stegblech übernimmt nur Schub

58. Welche Aufgabe haben die Pfosten, welche die Gurte ?

Gurte: Zug / Druckkräfte aus Biegemoment -> wichtig Profilhöhe, großer Steineranteil der Gurte

Pfosten: Zug/Druckkräfte aus Krafteinleitungen verteilen

als Steifen gegen Beulen der Schubfelder wirken

Rissstopper

Ermöglichen durch Aufgliederung der Struktur eine Querschnittsanpassung

59. Wie errechnet sich die Normalkraft in den Gurten eines I-Trägers bei Biegebelastung ?

Normalkraft N_x berechnet sich durch $N_x = \frac{M_y}{h}$ mit A_G = Gurtquerschnittsfläche, Normalspannung

$$\sigma_x = \frac{M_y}{h} \frac{1}{A_G}$$

60. Wie errechnet sich beim I-Träger der Schubfluß im Stegblech?

$$n_{xs} = \frac{Q_z}{h}, \quad \tau_{max} = \frac{Q_z}{A_s} = const$$

61. Wie errechnet sich der Schubfluss und der Schubmittelpunkt bei einem einsteigigen Schubwandträger mit gekrümmten Stegblech (Formel) ? Vergleich zum geradem Stegblech?

$$n_{xs} = \frac{Q_z}{h} \rightarrow \text{Gleiche Formel wie bei geradem Stegblech}$$

aber:

- gilt nur wenn Kraftrichtung parallel zu Verbindungslinie beider Gurte
- Q_z muss im SMP angreifen wegen offenem Profil

62. Wie verläuft die Analyse des Schubflussverlaufs in mehrstegigen, offenen Schubwandträgern?

2 stegig: einfache Kraftzerlegung von Q in Richtung der Gurtverbindungslinien, dann wie einstegig mit Kraftangriff in SMP

3 stegig: mit Culmann'schen Geraden in Q in 3 Richtungen zerlegen
besser wie bei n Stegen

n-Stege:

Kusinenformel,

statisch unbestimmtes Problem

mit Einschränkung: zwischen zwei Gurten jeweils konstanter Schubfluss, in jedem Teil greift die Kraft in Stegrichtung im Schubmittelpunkt an.

63. Rechteckfeld: Schubspannungsverlauf im Stegblech ?

Schubfluss in Stegblechen ist konstant, da lineare Änderung der Normalkräfte in Gurten und Pfosten

$$\frac{dN}{dx} = n_{xs}$$

64. Normalkraftverlauf im Pfosten?

lineare Änderung der Normalkräfte in Gurten und Pfosten

65. Welche zusätzliche Belastung tritt im Parallelogrammfeld-Blechfeld auf ?

Durch die Schrägstellung entstehen zusätzliche Normalkräfte in Trägerlängsrichtung (aus Kräftegleichgewicht am Element herleitbar)

Prüfungsfragen

66. Kräfte und Flüsse bei Schubfeldtheorie ?

67. Schubfluss am (liegenden/stehenden) U-Profil nach EBT und SFT ?

Bild ?

68. Wie ist der Schubflussverlauf in einem offenen mehrstegigen Profil nach SFT ?

Konstante Flüsse in den Stegen. Qualitative Werte siehe Hydrodynamisches Analogon

Kapitel 6 Lineare Elastostatik der Scheibe

1. Welches sind die Voraussetzungen für die lineare Elastostatik und welche Voraussetzungen fasst man unter dem Begriff Theorie I. Ordnung zusammen ?

Theorie I. Ordnung

- Kleine Verformungen
- Koordinatensystem ist körperfest und unveränderlich
- Kräfte werden am unverformten Körper angesetzt
- Superpositionsprinzip ist gültig

Lineare Elastostatik

- elastische Körper,
- lineares Elastizitätsgesetz

69. Beschreibung von Indizierungen? Vorzeichenregel?

Indizierung: Erster Index: Richtung der Flächennormalen

Zweiter Index: Wirkrichtung

Gleiche Indizes = Normalspannungen -> nur ein Buchstabe $\sigma_{xx}=\sigma_x$

ungleiche Indizes = Schubspannungen

70. Warum gilt $\tau_{xy}=\tau_{yx}$?

Aus Momentengleichgewicht am infinitesimalen Flächenelement

$M_{ges}=0$, Element darf sich nicht drehen

71. Zwischen welchen Größen liefern die kinematischen Beziehungen einen Zusammenhang ?

Zwischen 2 Verschiebungen und 3 Verzerrungen, diese sind nicht unabhängig voneinander
Es handelt sich also um Verträglichkeits- oder Kompatibilitätsbedingungen

72. Was bedeutet vollständige Anisotropie, was Orthotropie, was transversale Isotropie, was Isotropie, was Normalspannungs-Schiebungskopplung?

Vollständige Anisotropie:

Steifigkeitsmatrix \underline{E} hat 81 Komponenten

Paarweise zugeordnete Schubspannungen \Rightarrow 36 Komponenten

Aus Energiebetrachtungen \rightarrow symmetrisch \Rightarrow 21 Komponenten

Es liegt Dehnungs-Schiebungskopplung vor.

Orthotropie:

3 Symmetrieebenen \Rightarrow 9 Komponenten

Keine Dehnungs-Schiebungskopplung mehr

transversale Isotropie:

In einer Ebene liegt Isotropie vor, z.B. FKV

Isotropie:

Unendlich viele Symmetrieebenen \Rightarrow 2 unabhängige Komponenten E und G bzw. ν

Normalspannungs-Schiebungskopplung:

Normalspannungen erzeugen Schiebungen, „Jägerzauneffekt“

73. Wie sind die Querkontraktionszahlen definiert (Indizierung) ?

$$\epsilon_{xy} = -\frac{\epsilon_{quer}}{\epsilon_{laengs}} \quad \text{Minus damit Zahlenwert positiv, Wirkung y durch Ursache x} \quad \epsilon_{xy} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x}$$

74. Wie ist der Ablauf der Kraftmethode zur elastizitätstheoretischen Lösung des Scheibenproblems ?

Gleichungen aus:

- Gleichgewichtsbeziehungen
- Kinematischen Beziehungen
- Werkstoffgesetz

Vorgehen:

1. Elastizitätsgesetz in Verträglichkeitsbedingungen einsetzen
 \Rightarrow Eliminierung der Dehnungen
2. mit Gleichgewichtsbedingungen ermitteln der Spannungen
3. \Rightarrow Verzerrungen aus Elastizitätsgesetz
4. Verschiebungen aus Kinematik

75. Welchen Sinn haben die Airy'schen Spannungsfunktionen ?

DGL direkt zu schwierig zu lösen \rightarrow Ansatz zur Erfüllung der DGL und der Randbedingungen
skalare Ortsfunktion: Potenzreihen,Fourierreihen,komplexe Funktionen
Koeffizienten sind aus Randbedingungen bestimmbar

76. Wie sind die qualitativen Spannungsverläufe in einer durch eine Linienlast

beanspruchten Kragsscheibe. Vergleichen sie diese mit der Elementaren Biegetheorie.

Bild 6.8 Skript

Vergleich:

Für schlanke Balken liefern beide identische Normalspannungen in Längsrichtung
Scheibentheorie stützt Bernoulli-annahme vom Ebenbleiben der Querschnitte
Schubspannungen wie in EBT
EBT vernachlässigt Normalspannungen in Querrichtung, Scheibentheorie liefert diese

77. Was bedeutet , wenn ein Spannungszustand drehsymmetrisch ist?

Am besten in Polarkoordinaten rechnen
dann keine Abhängigkeit von $\varphi \rightarrow d/d\varphi = 0$

- 78. Zeigen sie qualitativ die Spannungsverläufe auf:**
bei einem dickwandigen Rohr unter Innendruck;
bei Scheibentorsion;
bei einer Bohrung in einer einachsigen durch Zug oder Schub belasteten Scheibe.

Dickwandiges Rohr unter Innendruck

Spannungsmaximum am Innenradius

Scheibentorsion

Schubspannungsmaximum ebenfalls innen

Scheibe mit Loch auf Zug belastet

79. Wie wäre das bei Schubbelastung?

Analog nur um 45° gedreht (Hauptachsensystem)

80. Wann beträgt bei einer Zugscheibe mit Loch der Formfaktor 2 wann 3 ?

bei schmalen Scheibenstreifen -> unbehinderte Querkontraktion -> $\alpha=2$

bei unendlich großer Scheibe: $\alpha=3$

reale Scheibe: irgendwo dazwischen

81. Welche konstruktiven Verbesserungsmaßnahmen können bei den verschiedenen Fällen ergriffen werden ?

Rohr unter Innendruck

Innenradius klein halten

Wanddicke erhöhen (nicht sehr wirksam)

Plastifizierung am Innenradius zulassen

Eigenspannungen einbringen = Autofrettage

Torsionsscheibe

Spannungsmaximum liegt auf Innenradius

ist quadratisch von Verhältnis aussen zu innenradius abhängig

-> Torsionseinleitung durch Hohlzapfen größeren Durchmessers

Wanddicke der Scheibe über den Radius anpassen, Scheibe und Zapfen ein Stück Drehteil

Bei Schweißkonstruktion unbedingt spannungsarm Glühen und Einbrandkerben durch Überdrehen entfernen

Scheibe mit Bohrung

Entlastungsbohrungen

Doppler

auf Duktilität des Materials vertrauen

Eigenspannungen ?

82. Wie sollte man Doppler konstruktiv ausführen ?

Eliptisch

Quer zu Spannungsrichtung

Vorsicht: Spannungserhöhung durch Steifigkeitssprung möglich->

Steifigkeitsverhältnis beachten, Doppler zieht Spannungen auf sich.

Großen relativen Übergangsradius wählen, evtl. Baud Kurve

Spannungen Kragsscheibe unter Linienkraft, Vergleich mit EBT?

Bild 6.8

Maßnahmen zur Spannungsreduzierung am Loch in Zugbelasteter Platte?

Gleichungen für EBT

Kapitel 7 Allgemeines zu Stabilitätsproblemen

1. Zeigen Sie typische Stabilitätsprobleme auf (Knick beziehungsweise Beulfälle)

Knicken von Stäben

Beulen von Platten und Schalen

Beulen von Zylindern

jeweils bei Druckbelastung

ggf. Wellen (Zylinder) unter Torsionsbelastung

83. Wie ist die globale Stabilität, wie die lokale Stabilität definiert?

Globale Stabilität: Gesamte Struktur ist betroffen

Lokale Stabilität: Nur Teilbereiche, z.B. freie Ränder sind von Veränderungen betroffen

84. Wie sehen die Last/Verformungsdiagramme folgender Strukturen bei Axialdruckbelastung qualitativ aus ? Stab, Ebene Platte, Kreiszyylinder

Stab: Nach Knicken keine Laststeigerung mehr möglich.

Platte: Nach Beulen noch Laststeigerung möglich

Zylinder: Nachbeulkurve mit starken Lastabfall im Nachbeulbereich, meist Katastrophales Versagen

Druckspannungen in Diagrammen positiv

85. In welche Bereiche gliedern sich die Last/Verformungskurven bei Axialdruckbelastung?

1. Vorbeulbereich
2. Erreichen der Beullast
3. Nachbeulbereich, überkritischer Bereich

86. Modell der Kreisscheibe: wie definieren sich die drei Gleichgewichtslagen?

Stabil: E_{pot} der Nachbarlagen $> E_{\text{pot}0}$

Indifferent: E_{pot} der Nachbarlagen $= E_{\text{pot}0}$

Labil: E_{pot} der Nachbarlagen $< E_{\text{pot}0}$

87. Was versteht man unter einem Verzweigungsproblem ?

Ab einem gewissen Wert der Belastung existieren mehrere Gleichgewichtslagen.

Die Kurve im Kraft/Weg Diagramm verzweigt sich

88. Was verzweigt am Verzweigungspunkt ?

Die Kurve im Kraft/Weg bzw. Spannungs/Dehnungs Diagramm

89. Was versteht man unter einem Durchschlagsproblem?

Kraft-Verformungskurve wird nicht komplett in einem Stück durchlaufen, sondern es findet ein Sprung (Durchschlag) in eine neue Gleichgewichtslage statt.

90. Was heißt in diesem Zusammenhang Mehrdeutigkeit ?

Einer Last sind unterschiedliche Auslenkungen zugeordnet.

91. Was versteht man unter den Begriffen: Theorie I. Ordnung und Theorie II.- und III. Ordnung?

Theorie

- I. Ordnung: Kleine Verformungen, Gleichungen werden am Unverformten System angesetzt.
- II. Ordnung: Gleichungen am Verformten System -> elastische Hebelarme, Zusatzbiegemomente treten auf. Verformungen aber klein gegenüber Strukturabmessungen ->linearisieren möglich
- III. Ordnung: nicht mehr linearisierbar, Ansatz am Verformten System mit Großen Auslenkungen, meist nicht analytisch lösbar

Kapitel 8 Knicken von Stäben

1. Welche Stabilitätsfälle können bei druckbelasteten Stäben auftreten? Wie sind sie den Querschnittsformen zugeordnet?

Stabilitätsfälle

- Biegeknicken
- Drillknicken
- Biegedrillknicken

Zuordnung

- Doppelt oder Punktsymmetrische Profile: Biegeknicken oder Drillknicken
- Offene halb oder unsymmetrische Profile L T U: Biege oder Biegedrillknicken
- Offene unsymmetrische: Biegedrillknicken
- Geschlossene P. :kein Drillknicken und Biegedrillknicken denn $W_T = G \cdot I_T$ ist zu groß, nur Biegeknicken möglich

92. Welche Knickformen untersucht man bei geschlossenen Profilen?

Nur Biegeknicken, $W_T = G \cdot I_T$ ist zu groß für Drillknicken

93. Welche zwei gebräuchlichen analytischen Berechnungsmethoden werden bei Stabilitätsproblemen von Stäben angewendet?

- Energiemethode
- Gleichgewichtsmethode

94. Welche idealisierenden Voraussetzungen trifft man für die rechnerische Behandlung des Eulerstabes?

- Stab exakt gerade
- Last exakt zentrisch
- Werkstoff ideal elastisch
- keine Material und Geometrieimperfectionen
- SMP im Schwerpunkt

95. Woraus resultiert die auslenkende Komponente der Druckkraft beim Knicken?

Gleichgewicht wird an infinitesimal ausgelenkter Struktur betrachtet -> Elastische Hebelarme treten auf (Theorie II. Ordnung)-> Druckkraft erzeugt Querkräfte

96. Für welche Gleichgewichtslage wird die kritische Kraft gesucht?

Für die indifferente Gleichgewichtslage bei der der Stab zwei gleichwertige Möglichkeiten (verschwinden der Auslenkung/weitere Auslenkung) hat

97. Was versteht man unter einem Eigenwertproblem, einem Eigenwert, einer Eigenfunktion?

Die DGL für elastostatisches Biegeknicken ist homogen, linear und ein Randwertproblem = Eigenwertproblem

Eigenwerte sind die Nullstellen des Charakteristischen Polynoms der Gleichung

Eigenfunktionen sind die Ansatzfunktionen die die DGL erfüllen

Aus den Eigenfunktionen ergeben sich dann auch die Eigenformen der Auslenkung z.B. Sinusförmige Auslenkung bei Stäben und Platten

98. Was sind kinematische, was statische Randbedingungen?

Kinematische Randbedingungen: Vorgegeben Verschiebungen und Verzerrungen

Statische Randbedingungen: Vorgegebene Kräfte, Momente, Spannungen

99. Warum liegen die Ergebnisse der Euler'schen Knickgleichung auf der unsicheren Seite?

Idealisierende Annahmen, vor allem Schubdeformation nicht berücksichtigt

100. Wie ist der Schlankheitsgrad definiert?

$\lambda_k = \frac{s_k}{i}$ Mit i =Trägheitsradius und s_k Knicklänge -> Zusammenfassung der Geometrie Größen und der Art der Einspannung.

101. Was versteht man unter dem Trägheitsradius?

Der Radius auf dem sich die ganze Fläche konzentrieren müsste, um das selbe Flächenträgheitsmoment zu erhalten. $I = i^2 \cdot A$

102. Wie sieht qualitativ ein Knickspannungs-Diagramm aus? Welche Grenzwerte gibt es?

Λ_K = Bezugsschlankheit -> $\sigma_K = R_p$ einsetzen

103. Warum kann man bei schlanken Stäben die Knicklast nicht durch höherfeste Werkstoffe steigern?

Knicken ist ein Steifigkeits-, kein Spannungsproblem -> wenn am Werkstoff angesetzt wird wäre E

erhöhen notwendig, aber meist schwierig. Lediglich Ersatz Aluminium durch Stahl ist möglich. Besser (leichtbautauglicher) ist (Hohl-)Querschnitt vergrößern->I erhöhen

104. Welche Versagensformen enthält ein Knickspannungsdiagramm?

Knicken für Punkte über der Hyperbel
bei gedrunenen Stäben ist aber Knickspannung größer als Proportionalitätsgrenze->
Theorie des Knickens nicht mehr gültig-> Druck(spannungs)versagensbereich

105. Elastisch gestützte Stäbe: Inwiefern tritt eine rückführende Komponente auf? Was versteht man unter einer Bettungsziffer?

Zusätzliche seitliche Stützwirkung der Abstützung
Auslenkung w erzeugt rückführende (Feder-) Kräfte $F \sim w$
Bettungsziffer $\beta = c/l =$ Federsteifigkeit pro Längeneinheit -> kontinuierliche Stützung

106. Welche Parameter beeinflussen die kritische Last?

Nicht mehr l wichtig sondern l/n (n =Halbwellenzahl), β, EI

107. Was versteht man unter einer Girlandenkurve? Wie ist sie zu interpretieren?

Auftragung von P_{ki} über der Stablänge. $P_{min} = 2 \sqrt{EI}$, je nach Länge des Stabes verschiedene Anzahl Halbwellen, je nachdem wo P_{ki} am kleinsten ist

108. Was ist ganz allgemein der Grund für Biege-Drillknicken? Wie muss das Profil beschaffen sein?

Kopplung zwischen Biegung und Torsion. Bei offenem Profil wird die primäre Biegeverformung durch Drillung überlagert. Denn die Druckkraft erzeugt beim Ausbiegen Querkraftkomponente, die nicht im SMP angreift -> Torsion des Profils
Es muss sich um ein offenes asymmetrisches Profil handeln (siehe Frage 1) damit Biege-Torsionskopplung besteht

109. Welche Ausweichbewegungen führt ein Profil im Fall des Biege-Drillknickens aus?

Verschiebungen in v und w Richtung sowie Verdrehung u um SMP

110. Welche 3 Sonderfälle können beim Biege-Drillknicken betrachtet werden?

- Doppelt oder Punktsymmetrische Profile: Biegeknicken oder Drillknicken (entkoppelt)
- Offene halb oder unsymmetrische Profile L T U: Biege oder Biegedrillknicken (abhängig von konkreter Profilgeometrie)
- Offene unsymmetrische: Biegedrillknicken (eindeutig gekoppelt)

111. Beschreiben Sie das Knicken doppelt- und punktsymmetrischer Profile; welche Knickformen können auftreten?

Symetrie = Neutrale und elastische Achse (SMPte) fallen zusammen, Gleichungssystem ist entkoppelt-> Knickformen sind voneinander unabhängig -> Niedrigste Knicklast bestimmt Versagensart

Entweder Biegeknicken oder Drillknicken möglich.

Drillknicken z.B. bei gedrunenen I Profilen

Bei Z Profil (Wölb torsion = W_T groß) immer Biegeknicken

112. Wie entsteht das Biege-Drillknicken beim einfach symmetrischen Profil?

Ausbiegen senkrecht zur Symetrieachse -> Querkraft greift nicht im SMP an -> Torsionsmoment-> Drillung

113. Welche Knickformen können beim unsymmetrischen Profil auftreten?

Gleichungssystem ist immer gekoppelt, Querkraft greift nie im SMP an -> immer Biege-Drillknicken

114. Charakterisieren Sie das Kippen von Trägern.

Biegeträger aus offenen torsionsweichen Profilen können unter Biegemoment und Querkraft Belastung + evtl. Längsdruck ebenfalls Stabilitätsprobleme zeigen. Verzweigungsproblem: nicht nur eine Biegung sondern auch eine zusätzlich Torsion ist bei Belastung als Gleichgewichtslage möglich. -> 2 Achsig gekrümmte Biegelinie, gekoppelt mit Verdrehung

115. Unterschied Plastizitätstheorie – Rheologie?

Plastizität : Zeitunabhängiges Werkstoffverhalten in Abhängigkeit von Belastungshöhe und vorherigen Umformgrad, Rheinfolge der Belastungen wird berücksichtigt, Geschwindigkeit und Dauer der Belastung nicht

Rheologie: Betrachtet zeitabhängiges Werkstoffverhalten (mit Feder Dämpfer Modellen)

116. Nennen Sie charakteristische Spannungs- und Verzerrungsverläufe.

WS mit stetiger Verfestigung

zuerst linear, dann verfestigend
mit oder ohne ausgepr. Streckgrenze

elastisch/idealplastisch
Vereinfachtes Modell

117. Mittels welcher Funktionstypen beschreibt man das nichtlineare σ/ϵ -Diagramm?

Verfestigende Materialien ohne ausgeprägte Streckgrenze -> Potenzansatz nach Ramberg-Osgood
z.B. Aluminium

Verfestigende Materialien mit ausgeprägter Streckgrenze -> tan h- Gesetz
z.B. Stahl

118. Wie sind E , E_T und E_s charakterisiert?

E : Steigung des Linearen Bereichs des Diagramms bis zur Streckgrenze

E_T :Tangentenmodul (lokaler inkrementeller Modul)

E_s :Sekantenmodul (globaler punkttuller Modul)

119. Welcher Ansatz wurde von Engesser gemacht, um plastostatisches Knicken zu berechnen?

Ersetzen von E durch E_T in Eulergleichung -> Vereinfachung denn real kein gleichmäßiges Plastifizieren des Stabquerschnitts

120. Inwiefern wurde die ursprüngliche Engesser-Theorie verbessert?

Karman-Engesser: Plastifizieren nur auf der Druckseite (wegen Drucküberlagerung auf Zugseite geringere Gesamtspannung) -> Biegesteifigkeit wird mit Flächenmomenten I. und II. Ordnung berechnet die mit E bzw. E_T gewichtet werden.-> Knickmodul T
Elasto-plastische Knickspannung über Eulergleichung aber mit Knickmodul T statt E

121. Was verstehen Sie unter der Knickspannung nach Engesser-Shanley?

Aufgrund Versuchen und Plausibilitätsbetrachtungen: Spannungen auf Druckseite wachsen schneller als Zugspannung abnimmt.

-> Engesser Hypothese war doch ausreichend genau, mit Knickspannungsberechnung mit E_T liegt man auf der sicheren Seite. (Konservative Berechnung)

122. Welcher Unterschied besteht - mechanisch betrachtet – zwischen dem ideal geraden und dem vorgekrümmten bzw. exzentrisch gedrückten Stab?

Idealer Stab -> Verzweigungsproblem

Vorgekrümmter Stab (durch Herstellunggenauigkeiten, Zusatzlasten) -> Spannungsproblem III. Ordnung (**kein** Stabilitätsproblem!!) = Druckbiegung

123. Welchen Einfluss haben die Verkrümmung und die axiale Druckkraft auf das Verformungsverhalten des vorgekrümmten Stabs?

Vordeformation führt mit Druckkraft zu Biegemoment/Streckenlast
Der Stab hat selektive Eigenschaften = 1. Halbwelle wird bevorzugt

Der Rest kann vernachlässigt werden-> w_{ges} aus w_0 *Vergrößerungsfunktion $\frac{P_{ki}}{P}$

124. Wie bestimmt sich der Biegespannungsverlauf des vorgekrümmten Stabs?

Biegespannungen = Anfangsmommentenverlauf * Vergrößerungsfunktion $\frac{P_{ki}}{P}$

125. Wie ist der prinzipielle Rechengang für einen querkräftbelasteten und gleichzeitig gedrückten Stab?

Bei Vorkrümmung infolge Querkraft -> allgemeine Regel:

Biegespannungen aus Theorie I. Ordnung * Vergrößerungsfunktion

Bei Druck: Biegebeanspruchung wird vergrößert

Bei Zug: Biegebeanspruchung wird verkleinert

126. Wie ermittelt man die elasto-statische Grenztragfähigkeit eines vorgekrümmten Stabs?

Lösung des Spannungsproblems: hier Überlagerung Druck und Biegespannungen

Knickspannungs-Diagramm : Kurvenschar für verschiedene Vorkrümmungen

größte Reduktion von σ_u infolge vorkrümmung bei *kleinen* Schlankheitsgraden

großer Schlankheitsgrad-> Vorkrümmung w_0 muss nicht bestimmt werden-> Eulergleichung verwenden

127. Inwiefern benötigt man bei Stabproblemen keine Fließhypothese?

Biegung (ohne Schubfluss) ist eine Einachsige Beanspruchung.

Keine Interaktionsbeziehungen nötig -> σ/ε -Diagramm direkt verwendbar

128. Was versteht man unter dem vollplastischen Moment?

Moment bei dessen Aufnahme der Stabquerschnitt vollständig plastifiziert

129. Welchen Formbeiwert hat der Rechteckquerschnitt bzgl. des vollplastischen Moments?

Mitte bei Vollquerschnitten nicht stark belastet

-> Überhöhung möglich->Rechteck Formbeiwert 1,5

Bei Leichtbaustrukturen (I,O) keine Überhöhung

130. Was versteht man unter einem Fließgelenk?

An der Stelle des größten Biegemoments platifiziert der Querschnitt zuerst komplett = Fließgelenk

-> Instabilität-> Versagen

Bei Statisch unbestimmten Systemen ein zusätzlicher Freiheitsgrad pro Fließgelenk (wie bei Gelenk sonst auch), Versagen wenn kein Lastpfad mehr übrig

131. Auf welche Sonderprobleme hat man bei Stabilitätsfragen des Stabs zusätzlich zu achten?

- Imperfektionen
- Kriechen
- Bestgeeigneteste Querschnittsformen: Hohlprofile (kein Drillknicken), Kreisrohr am besten
- bei sehr dünnwandigen Profilen Gefahr der örtlichen Beulens
-> Bördel an freien Kanten offener Profile vorsehen

132. Was sind äußere, was innere Imperfektionen?

Äußere: Abweichen von Idealmaßen, Verbiegen infolge z.B. Eigengewicht

Innere: Eigenspannungen, Lunker, Materialinhomogenitäten

Bei Holz: Aussermittigkeit der Jahresringe, Astlöcher, Anisotropie

Prüfungsfragen

133. Was ist Druckbiegung ?

134. Was bedeutet plastifizieren und vollplastisches Moment?

135. Welche Tragreserven gibt es bei Leichtbauprofilen und bei Vollquerschnitten?

Bei Leichtbauprofilen so gut wie keine, da näherungsweise homogene Spannungsverteilung

Bei Vollprofilen nennenswert

Bsp. Plastische Tragreserve bei Rechteck 50%

136. Was ist ein Verzweigungsproblem?

Ein Stabilitätsproblem -> im Kraft/Verformungsdiagramm gibt es eine Verzweigung ab der es mindestens 2 mögliche Verformungen zu einer Kraft gibt

137. Kraft/Verformungsdiagramm für den Stab

Bild 8.21 ?

138. Wie ist der Schlankheitsgrad definiert ?

$$\lambda_K = \frac{s_K}{i} \text{ Mit } s_K = \text{Knicklänge, } i = \text{Trägheitsradius}$$

139. Knickspannungsdiagramm für Alu, Baustahl und hochfesten Stahl

Bild 8.4

140. Welche Ansätze gibt es für plastostatisches Knicken ?

Engesser
Karman-Engesser
Engesser-Shanley

Kapitel 9 Beulen von Platten

1. Wie wird im Werkstoffgesetz die Querkontraktionsbehinderung berücksichtigt?

Statt $E \Rightarrow \frac{E}{1 - \nu^2}$ (resultiert aus 2 Achsigen Werkstoffgesetz)

141. Was versteht man unter der Plattensteifigkeit?

$$K = \frac{E}{1 - \nu^2} \frac{t^3}{12} \text{ Mit } t = \text{Plattendicke}$$

= Breitenbezogene Steifigkeit
(Entspricht EI beim Balken)

142. Was muß man bei der Verwendung der Eulerknick-Gleichung auf das Beulproblem des Plattenstabs berücksichtigen?

Plattenstab: Breite b klein und freier Rand

Wie Eulerstab auf Knicken rechnen statt $EI \rightarrow K$ einsetzen

143. Welche Zusatzbeanspruchungen werden nach Theorie II. Ordnung durch Scheibenkräfte an der Platte erzeugt?

Infolge infinitesimaler Verformung durch Drucklast entstehen zusätzlich zu Belastung in Plattenebene

an inf. gekrümmter Platte: Querkräfte und Biegemomente

an inf. gedrellter Platte: Drillmomente

144. Welches ist der Grundfall der Plattenbeulung?

Allseitig gelenkig gelagerte Rechteckplatte unter Längs-Druckbeanspruchung

145. Was stellt die Girlandenkurve bei Platten dar?

Beulwert k über Seitenverhältnis, $k_{\min} = 4$

Kritische Normalkraft/Breite (Linienkraft/kraftfluss) ergibt sich dann zu $n_{ki} = k \frac{K}{b^2}$

146. Bei welchen Beulformen (Beulhalbwellen) werden die geringsten Beullasten erreicht?

Bei ganzzahligen Seitenverhältnissen \Rightarrow Aufteilung der Platte in quadratische Beulfelder \Rightarrow kompatible Ausbeulungen, in Querrichtung immer eine Halbwellen

147. Als was ist Schubbeulen auch interpretierbar?

Beulen unter Druck unter 45 Grad (Hauptspannungszustand) $\sigma_1 = \tau$, $\sigma_2 = -\tau$

148. Welche Maßnahmen sind zur Erhöhung der Beullasten sinnvoll?

- Wanddicke erhöhen, leichtbaugerecht durch Sandwich oder (verschmiert gerechnete) Stringer denn es handelt sich um ein Biegeproblem
- Plattenbreite reduzieren (steife Stringer)
- Erhöhung E (Kunststoffe,FKV)
- Erhöhung von K durch Einspannung
- Krümmung des Plattenstreifens
- oder nichts: bei Spitzenlasten Nutzung überkritischer Tragfähigkeit möglich

149. Warum empfiehlt es sich, einen Schubsteg zu lochen; welche Zusatzmaßnahme ist zu treffen?

Bei überwiegend durch Biegung belasteten, schlanken Trägern \rightarrow geringe Schubbelastung \rightarrow Gewichtsersparnis möglich

Lochränder bördeln \rightarrow Erhöhung der Quersteifigkeit = Schutz vor Beulen

Richtigen Lochabstand wählen, einen Lochdurchmesser stehen lassen

150. Was wird über den Beulfaktor k berücksichtigt?

Einfluss von **Belastungsart** und **Randbedingungen**

151. Welche konstruktiven Maßnahmen führen zu einer Erhöhung des Schubbeulwerts?

Quer-, Längs- oder Diagonal-Steife(in Hauptnormalspannungs- Druckrichtung)
Querrippen

152. Zeichnen Sie den Sicherheitsfaktor in ein Interaktionsdiagramm ein.

$S=D/d$ Interaktionsdiagramm σ_1 / σ_2 oder τ/σ

153. Welche Versagensformen können bei einem dünnwandigen Stabprofil auftreten?

Globales Versagen-> Knicken

Lokales Versagen-> Beulen einzelner Wände

Lokales Versagen zieht meist globales Versagen nach sich über Erniedrigung von I

154. Wie lässt sich das Beulversagen eines dünnwandigen Profils abschätzen?

Abwickeln des Profils, Beulen von Einzelrechteckplatten unter gemeinsamer Last

Lagerbedingungen für Kanten konservativ wählen (gelenkige Lagerung)

genauerer Ansatz: Kanten kein echtes Drehgelenk-> Beul-Verformungskopplung->Federnde Einspannung

155. Wie lässt sich ein dünnwandiges Profil hinsichtlich Beulen und hinsichtlich des Gesamt-Stabilitätsversagens optimieren?

Geometrien so abstimmen, dass Beulspannung in allen Plattenstreifen gleichzeitig erreicht wird

Freie Ränder durch Bördel stabilisieren

Abkantungen: Beul-Verformungskopplung, Kaltverfestigung

Gewichtsoptimal wenn Stabknicken und lokales Beulen bei gleicher Last auftreten

156. Welche Aufgaben haben Steifen?

- Krafteinleitungen
- Beulsteifigkeit erhöhen->Aufzwingen neuer Beulform, Steife wirkt als Einspannung
- Erhöhung überkritischer Tragfähigkeit durch größere Biegesteifigkeit
- Rissstopper

157. Welche Beulformen können versteifte Platten aufweisen und welche Beulform ist anzustreben?

Globales Beulen: Steifigkeit der Steife ist zu gering
besser ist

Lokales Beulen: bei ausreichender Steife
besonders günstig

Lokales Antimetrisches Beulen, Steife ist so steif dass Platte in 2 Einzelfelder unterteilt wird und lokales Beulen auftritt-> k-Faktor wird vervierfacht

Optimal ist gleichzeitiges Auftreten von Lokalem und globalen Beulen

158. Welche Parameter beeinflussen die unterschiedlichen Beulformen?

Seitenverhältnis der Platte

Steifendruckbeiwert δ_L

Steifenbiegebeiwert γ_L

γ_L suchen, dass lokales und globales Beulen zusammenfallen

159. Warum kann die Platte überkritisch noch weiter belastet werden?

Neuer Tragmechanismus -> Kräfteumlagerung von Gebeulten Bereichen auf Steifen und direkt angeschlossene Plattenbereiche

-> Nichtlineares Last/verformungsverhalten

Belastung wird zur Rechnung auf Steifen und reduzierte Querschnittsfläche bezogen

-> Wirksame Breite b_m nimmt mit zunehmender Last ab, abhängig von Einspannung

160. Wo liegen die Grenzen der überkritischen Belastbarkeit?

- Knicken des Stabes (Steife und mittragende Breite der Platte)
- örtliches Beulen der Steifenwände
- Erreichen der Streckgrenze

161. Welche Größe ist bei Nutzung der wirksamen Breite zu ermitteln und wovon hängt sie ab?

Wirksame Breite b_m nimmt mit zunehmender Last ab

abhängig von Überschreitungsgrad σ / σ_{ki}

iterative Vorgehensweise Überschreitungsgrad->Wirksame Breite->Überschreitungsgrad

b_m ist auch abhängig von Einspannung

162. Welche Wirkung hat die Krümmung einer Platte auf die Beulfestigkeit? Grund?

Erzeugen von Membranspannungen -> Biegesteifigkeit/ Flächenträgheitsmoment steigt->Beulwert steigt an, es gibt zwei Fälle:

- starke Krümmung->als Zylinder rechnen
- schwache Krümmung -> wie ebene Platte rechnen mit einer Halbwelle über die Breite
-> Beulwert k_σ mit Krümmung zunehmend

Krümmung steigert auch die Schubbelastbarkeit

Prüfungsfragen

163. Was ist Beulbiegung ?

164. U-Profil, wie kann ich das vereinfachend Rechnen auf Beulen ?

165. I-Träger unter Streckenlast. Skizzieren Sie den Spannungszustand am infinitesimalen Element?

166. Interaktionsbeziehung Biegung / Schub ?

Kreis
Bild 9.19

Druck/Schub
Quadratisch
Bild 9.18

167. Wie sieht die Girlandenkurve aus ? Minimalwert ? Wie ändert sie sich bei allseitiger Einspannung ?

Kapitel 10 Beulen von dünnwandigen, unversteiften Kreiszylinderschalen

1. Unter welchen Belastungsarten tritt beim Kreiszyylinder Stabilitätsversagen auf?

1. Manteldruck (Aussendruck z.B. Meerestechnik)
2. Axialdruck (Schorsteine)
3. 1+2 Kombiniert z.B. bei geschlossenem Behälter unter Aussendruck
4. Biegung und Axialdruck (Masten)
5. Schub aus Torsion und Querkraft (Flugzeugrumpf)

168. Was bedeutet „idealer Zylinder“?

Keine Imperfektionen
Perfekte Krümmung
überall exakt gleiche Wanddicke
keine Materialfehler

169. Von welchen Parametern ist die Beullast des mittellangen Zylinders abhängig?

E-Modul, Radius/Wanddicke = Schalenschlankheit
Von der Zylinderlänge unabhängig !

170. In welche Längenbereiche ist der axial gedrückte Zylinder zu unterteilen; welche Rechenansätze werden gemacht?

Kurzer Zylinder-> querbelastete Platte
Mittellanger Z. -> Zylinderschale, $k=\text{konst}$
langer Zylinder-> Knickstab

171. Nennen Sie die beiden zentralen Probleme des beulenden, axial gedrückten Zylinders?

- Im Nachbeulbereich ist Gleichgewicht erst bei sehr viel niedrig Last erreicht->Katastrophales Versagen
- Imperfektionsanfälligkeit-> Theoretischer Verzweigungspunkt wird nicht erreicht, reale Traglast weit unterhalb der idealen -> Nichtlineare Kraft/Verformungskurve

172. Inwiefern führt eine Gewichtskraft im Nachbeulbereich zu großen Deformationen?

Statische Last, kann nicht schnell weggenommen werden wenn Verformung zunimmt-> Platt !

173. Erläutern Sie das α -Konzept.

Berücksichtigen der Vorbeulen anhand experimenteller Untersuchungen, da rechnerisch schwierig abschätzbar -> Abminderungsfaktor α für Theoretische Verzweigungslast
 $\alpha=f(\text{Schalenschlankheit})$
 α über Schalenschlankheit r/t = Mittelwertkurve von Versuchsergebnissen, Verschiebung nach unten und Sicherheitsfaktor steht in Literatur zur Verfügung
Die Werte gelten nicht für beliebig große Vorbeulen -> Fertigungstoleranzen geeignet festlegen und sicherstellen

174. Wie wird das elastische Zylinderbeulen auf den elastoplastischen Bereich

erweitert?

Wenn theoretische Tragspannung > 40% Fließgrenze
entsteht Teilplastifizieren -> Verwendung einer halbempirischen Näherungsformel

175. Welchen Einfluss übt der Innendruck auf das Beulverhalten eines Zylinders aus? Wo liegen die Grenzen?

Erhöhung der Traglast durch

- Glättung von Imperfektionen
- Kompensation eines Teils der Axialdrucklast
- Erhöhung der Membranstützwirkung

Begrenzt durch Fließgrenze: Erhöhung der Umfangsspannungen-> früheres Erreichen der Fließgrenze

176. In welche Längenbereiche ist der Zylinder bei Torsionsbelastung einzuteilen?

- Kurz -> Krümmungseinfluss vernachlässigbar
-> wie Platte mit Schubbeulen (gelenkig gelagert)
- mittel -> Beulwert k_τ konstant, Randeinfluss vorhanden
- lang, dickwandig -> Randeinfluss verschwindet -> Rohrlänge beeinflusst τ_{ki} nicht mehr
- sehr lang -> Torsionsknicken

177. Welchen Stabilitäts-Beanspruchungsfall stellt der außendruckbelastete Behälter dar?

Interaktion zwischen Axial- und Aussendruck -> starke Reduktion der Beulspannungen -> lineare Interaktion

178. Welchen Ansatz macht man beim biegebelasteten, beulgefährdeten Zylinder?

Druckspannungen sind Versagensauslösend-> Maximale Druckspannung
in Formel für gedrückten Zylinder einsetzen

aber

Da Stützwirkung durch Zugspannung->kleiner Abminderungsfaktor α

179. Welche Interaktion besteht dabei zwischen Biegung und Querkraft-Schub?

Quadratische Interaktion

$$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_u} + \frac{\tau_{max}^2}{\tau_{Qu}^2} = 1 \quad \text{mit} \quad \sigma_{max} = \frac{Q}{r \cdot t} \quad \sigma_{max} = \text{maximale Druckspannung aus Biegung}$$

τ_{max} = maximale Schubspannung aus Querkraft

Index u = ultimate maximal allein ertragbarer Wert

Prüfungsfragen

180. Last/Verformungsdiagramm realer/idealer Zylinder ?

Bild 10.3 10.4 10.5

181. Betrachten wir einen Kragzylinder unter Querkraft. Wo beult er ? Wie kann er zur Auslegung gerechnet werden ?

Kapitel 11 Kern-Verbund oder Sandwich Bauweise

1. Welches Bauprinzip liegt der Kernverbund-Bauweise zugrunde und wie ist die Aufgabenverteilung der Komponenten?

Dreischichten Verbund mit Aufgabenteilung

- Deckhäute liefern Scheibensteifigkeiten und hohe Festigkeiten
- Kern liefert bei niedrigstmöglicher Dichte (~2/3 des Gesamtgewichts):
 - den Abstand für hohen Steiner-Anteil -> hohe Biegesteifigkeit
 - Druckfestigkeit für Belastbarkeit senkrecht zur Plattenebene
 - Schubsteifigkeit und Festigkeit (für Querkraftbiegung)
 - Stützung der Deckhäute gegen Beulen

182. Auf welche Belastung ist der Sandwich ausgelegt?

Prädestiniert für Biegung wegen hohem Steiner-Anteil bei geringer Masse

Gute Materialausnutzung bei Biegung durch nahezu konstante Zug/Druckspannungen über die dünne Wand der Deckhäute

183. Welche Vorteile hat die Kernverbund-Bauweise?

- Hohe Biegesteifigkeit und Festigkeit bei sehr niedriger Gesamtdichte
- Glatte Oberflächen für Aerodynamik, gute Formhaltung
- Standfest, keine Durchzeichnungen von Rippen und Stringern
- Keine Spannungssprünge, kerbarm-> hohe Ermüdungsfestigkeit
- Fail Safe – Hautriss von einer Seite schlägt nicht zur anderen durch
- Schalldämmung
- Wärmeisolation
- hoher Brandwiderstand
- geringeres Gewicht als verrippte Flächen gleicher Beulsteifigkeit

184. Welches sind die gravierendsten Nachteile der Kernverbund-Bauweise?

- Punktuelle Kräfteinleitungen schwierig zu realisieren
- Fehler schwer erkennbar
- Feuchteaufnahme bei Temperaturschwankungen

185. Welche Werkstoffe finden in der Kernverbund-Bauweise Verwendung; a) als Deckhautmaterialien, b) als Kernmaterialien?

a) Praktisch jedes Material das in dünnen Schichten herstellbar ist z.B.

- Al-,Ti-,Stahl- bleche,
- FKV-Lamine,
- dünne Sperrholzplatten,

- Kunststoff,
- Papier/Pappe

b)

- Waben
- Polymer Hartschäume
- Balsaholz
- Faltkerne

186. Welche Werkstoffe werden für Honigwaben verwendet?

- Alu (korrosionsschutzbeschichtet,
- rostfreier Stahl,
- Titan,
- Nickellegierungen
- Phenolharzgetränkte Aramidpapiere (*Nomex*)
- FKV-Laminate (primär Glas und Kohlenstofffaser)

187. Welche besonderen Ausführungen von Wabenkernen gibt es?

Hexagonal oder Bienenwabe, in einer Richtung überexpandierte Wabe, biegsame Flex-core Wabe

188. Was ist bei der Verklebung von Deckhäuten und Kernverbundkernen zu beachten?

- Sehr geringe Klebefläche -> Kleber-Meniskus muss sich ausbilden
- Al-Deckschichten sind vor Verkleben mit Korrosionsschutz/Haftvermittler zu versehen

189. Welche elastische und festigkeitsrelevante Besonderheit weisen Honigwabenkerne auf?

Orthotrope Eigenschaften aufgrund der bei Verklebung der Wände in Längsrichtung aufgedoppelten Flächen

190. Welche Polymerschäume finden als Kernmaterial Verwendung?

- PVC (PolyVinylChlorid)
- PU (Polyurethan)
- PMI (Polymetharylimid)
- Epoxid und UP-Schäume

191. Beurteilen Sie die Leistungsfähigkeit von Polymerschäumen im Vergleich zu Honigwaben.

Vergleichsweise Geringe Steifigkeit gegenüber Waben (ca. Faktor 10 auf Masse bezogen)

Geringere Druckfestigkeit und Schubfestigkeit (ca. Faktor 4)

Kleber und Harzaufnahme beim Verkleben bewirkt massenzunahme

Evtl. Problematische Ermüdung bei Schwingbelastung

aber Vorteile

Verarbeitung (Sägen, Schleifen, Fräsen aber auch Autoklavtauglichkeit)

günstiger Preis

192. Was ist bezüglich der Krafteinleitung in Kernverbundstrukturen konstruktiv zu beachten?

Umwandeln der Punkt in Flächenlasten nötig wegen geringer lokaler querdruckfestigkeit

Eventuell lokale Verstärkung/Ersatz des Kernmaterials notwendig

193. Welche Voraussetzungen werden bei der Sandwich-Membrantheorie getroffen?

- Nur Steiner-Anteil der Deckhäute, deren Eigenbiegesteifigkeiten werden vernachlässigt
- Deckhäute als Scheiben betrachtet, Spannungen konstant über Deckhautdicke
- Kern Biege- und Dehnschlaff
- Kern überträgt nur Schub (über der Höhe **konstanter** Schubspannungszustand)
- Kräfte in Decken aus Kräfte- und Momentenäquivalenz mit Schnittkräften und Schnittmomenten (=Statik)

194. Aus welchen Steifigkeitstermen setzt sich das Elastizitätsgesetz eines Kernverbunds zusammen?

Kombiniertes Scheiben- Plattenelement

Scheiben: Parallelschaltung der Scheibensteifigkeiten -> C_s

Platten: Addition der Elastizitäten und Steiner-Anteil -> C_p Plattensteifigkeit

Schubsteifigkeit: Deckhautanteile werden vernachlässigt, nur Kern geht ein

-> Schubabsenkung kommt in Größenordnungen wo sie gegenüber der Biegeabsenkung nicht mehr vernachlässigt werden können.

195. Welche Sandwich-Stabilitätsversagensformen gibt es?

Globales Versagen

- Biegeknicken als Plattenstab
- Schubbeulen als Platten
- Druckbeulen als Platte

Lokales Versagen der Deckschichten

- Knittern der Deckschichten
 - Kurzwellig
 - Langwellig
- Beulen der Deckschichten zwischen den Kernstegen

Versagen der Kernstruktur

Lokales Beulen der Wabenstege (durch zu hohe örtliche Druckbelastung)

lokales Schubknicken der Platte

196. Wie verändern sich die Beulwerte k einer beulenden Sandwichplatte unter dem Einfluß der Kernschubnachgiebigkeit (qualitativ)?

Größere Nachgiebigkeit des Kerns vergrößert Absenkung aus Querkraftbiegung, senkt damit Knick und Beulsteifigkeiten

197. Was ist bei dem Knicknachweis eines Sandwichstabes zu beachten?

Auch die Schubnachgiebigkeit muss berücksichtigt werden, da geringere Schubsteifigkeit des Kerns größere Schubverformungen als bei massiven Platten bewirkt.

Eventuelle Orthotropie des Kernmaterials

Bei sehr kurzem Stab ist die örtliche Instabilität des Kerns ausschlaggebend

198. Was versteht man unter Schubknicken (Skizze)?

Tritt bei nicht ausreichender Schubfestigkeit des Kerns auf.
Kritische Drucklast lässt sich nach Theorie II.Ordnung am infinitesimal verformten Element ermitteln (parallelogrammförmig)

199. Was versteht man unter Hautknittern und welchen Ansatz macht man zur Durchführung des Stabilitätsnachweises?

Langwelliges oder kurzwelliges Beulen der Deckhaut
Ansatz bei langwelligem Knittern:
Deckhäute als Stäbe auf elastischer Bettung modellieren
kurzwelliges Knittern:
Kommt nur bei sehr weichen Kernen bei großen relativen Kerndicken ($d/t > 50$) vor
Dabei tritt durch Schubdeformation des Kerns kein konstanter Bettungsdruck vor
Berücksichtigung über Beiwert

200. Inwiefern können die Deckhäute zwischen den Kernstegen beulen und wie kann man das Problem analytisch angehen?

Bei Faltkern: Deckhäute als gelagerte Platten modellieren und Stabilitätsnachweis führen
Bei Honigwaben: vereinfachend Quadratplatte zugrundelegen und auf Beulen rechnen

201. Welche Spannungsprobleme treten bei der Biegung gekrümmter Sandwichschalen auf?

Abtriebskräfte -> Kern wird gedrückt, ggf. zerquetscht
Aufziehkräfte -> Versagen der Klebung / Trennung zwischen Kern und Deckhaut

Prüfungsfragen

202. Vergleich Sandwich mit Platte, gleiche Abmessungen und Biegesteifigkeit, was beult zuerst, warum und wie Abhilfe schaffen?

Der Sandwich wegen Schubnachgiebigen Kern S. 257 Skript 11.8.3
Abhilfe: Dicke vergrößern (Steiner)

Kapitel 12 Klebeverbindungen

1. Warum sind Klebungen leichtbautypisch?

Gut für Fügung von Leichtbaustrukturen geeignet -> dünnwandig, große Flächen

203. Listen Sie einige Vorteile von Klebeverbindungen und vergleichen sie mit anderen Fügetechniken.

- Unterschiedliche Werkstoffe möglich
- keine Reduzierung tragender Querschnitte

- keine Kerbwirkung
- gleichzeitige Dichtwirkung
- gröbere Passungen möglich
- aufbringen lokaler Verstärkungen möglich
- hohe Dämpfung
- keine hohen Füge temperaturen->keine Eigenspannungen, kein Verzug, keine Gefügeänderungen

204. Erläutern Sie die entscheidenden Probleme von Klebverbindungen.

Geringe Festigkeiten gegen Querszugbeanspruchung => Schälbeanspruchung
 kein Gleichmäßiger Spannungsverlauf->Spannungsspitzen in Klebung
 Schlecht bei hohen Temperaturen und Feuchte
 Aufwendige Vorbehandlung und Qualitätssicherung

205. Welche Geometrien einer Klebverbindung werden mechanisch unterschieden?

Schäftung
 Symetrische Fügungen: Zweischnittige Überlappungsklebung
 Einschnittige Überlappungsklebung
 Doppler
 Pflaster

206. Wie analysiert man (nur qualitativ) eine Schäftung? Welche Vorteile hat eine Schäftung?

Analyse

Schnitt durch die Klebefläche wird betrachtet
 Transformation der Kräfte in Koordinaten normal/längs der Klebefuge
 ->Schub und Normalspannungen bekannt

Vorteile

- Keine Spannungsspitzen,
- kein Biegemoment da Kräfte auf einer Linie -> keine Schälspannungen,
- keine Materialdopplung, Stufen
- Fast nur Schubbelastung des Klebers bei flachen Winkeln
- Vergrößerung der Klebfläche im Vergleich zu Wandstärke

Nachteil:Fertigung v.a. bei Blech

207. Welches mechanische Modell legt man der Analyse einer Überlappungsfügung zugrunde? Nennen Sie die wichtigsten Voraussetzungen, die man dazu trifft.

Volkersen Modell:

Fügeteile nur Längskräfte
 Kleber nur Schub

Volkersen Gleichung:

für gleiche Fügeteil-Steifigkeiten

Schubfluss über die Dicke des Klebspalts konstant

$$\sigma_{Kmax} = \frac{F_{10}}{b} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{1}{Et} + \frac{1}{t_K} \right] G_K}$$

lineare Elastizitätsgesetze, kleine Verformungen
 ideale Haftung zwischen Kleber und Fügeteilen

E=Modul der Fügeteile, t=Dicke der Fügeteile, t_K = Dicke Klebfuge, G_K=Schubmodul Kleber

208. Skizzieren Sie den Kleberschub- und den Fügeiteil-Normalspannungsverlauf in einer Überlappungsklebung.

Schubspitzen an Rändern, Normalspannungsänderung in Fügeiteilen = Schubspannung im Kleber

209. Welche Auswirkungen haben dickere Fügeiteile, steifere Fügeiteile, größere Klebschichtdicken und größere Überlappungslängen (Diskussion der Parameter der Volkersen-Gl.)?

dickere Fügeiteile: geringere Spannungsspitzen

steifere Fügeiteile: geringere Spannungsspitzen

größere Klebschichtdicken: geringere Spannungsspitzen aber größere Verformungen

größere Überlappungslängen: Spannungsspitze nimmt tendenziell ab, Sehr kurze Längen ergeben extrem hohe Spannungsspitzen, ab gewisser Länge aber keine weitere Absenkung

210. Skizzieren Sie den Normal- und den Schubspannungsverlauf in einer Dopplerverbindung.

211. Wie sollten - im Sinne hoher Festigkeit - Doppler gestaltet sein?

Hohe Spannungsspitzen in dicken Dopplern, besser abgestufte dünne Doppler, möglichst beidseitig

212. Wie wirkt sich die Plastizität eines Klebers auf den Spannungsverlauf aus und was bedeutet dies für die Überlappungslänge?

Abbau der Spannungsspitzen und Umlagerung zur Überlappungsmittle hin-> rechnerische Länge mindestens verdoppeln

213. Welchen Einfluss auf die Klebfestigkeit haben höhere Temperaturen, langzeitige Belastungen und eine Schwingbeanspruchung? Welche Mechanismen werden wirksam?

Hohe Temperaturen und Langzeitbelastungen: Reduktion der Festigkeiten, zum Teil kompensiert durch Kriech und Relaxationsvorgänge -> Spannungsumlagerungen

Schwingbeanspruchung ähnlich wie Langzeitbelastungen, Spannungsumlagerungen finden statt,

eher kein Problem, häufig versagt eher Fügeteil

214. Wie sind die geometrische, die wahre und die wirksame Fügefläche definiert?

Geometrische: Klebungsbreite mal Überlappung

Wahre Oberfläche: Beinhaltet Rauigkeit-> 1,2 bis 5 mal größer als Geometrische

Wirksame Oberfläche: Tatsächlich von Kleber benetzte Fläche

215. Warum verbessert ein erhöhter Anpressdruck die Klebfestigkeit?

Vergrößerung der Wirksamen Oberfläche da Kleber in Oberflächenvertiefungen gedrückt wird

216. Was bewirkt zu hoher Pressdruck?

Berührung der (Rauigkeits-)Spitzen der Oberflächen->Verringerung der wirksamen Oberfläche, Kerbspannungen durch Unterbrechungen der Kleberschicht

217. Zählen Sie einige Klebertypen auf.

Strukturkleber: Epoxid-,Phenol-,Acrylharz

elastische Kleber:Silikon,Polyurethan

218. Welche Maßnahmen zur Vorbereitung einer Fügefläche sind notwendig?

Lose Teile=Schmutz,Staub entfernen, entfetten (sonst Trennwirkung)

Oberfläche vergrößern (Sandstrahlen) -> Rauigkeit optimal ca 50 my

219. Nennen Sie Möglichkeiten zur Vorbehandlung der Klebflächen.

bei metallisch blanken Oberflächen, Oxid und Phosphatschichten Primer auftragen
auch zum Schutz der Oberfläche bis zur Klebung

220. Welche Aufgabe hat ein Primer?

Korrosionsschutz und Haftvermittler

221. Wie groß ist die optimale Klebschichtdicke?

Laut Volkersen große Dicke gut, aus Versuchsergebnissen ca. 0,1mm Optimal für Strukturklebung

222. Zählen Sie Möglichkeiten auf, um konstruktiv die Spannungsspitzen einer Überlappungsklebung zu reduzieren?

Gradientenklebung

(teilweise) Keilförmige Klebfugen (-> Schäftung)

Kleberkehle

223. Skizzieren Sie konstruktive Möglichkeiten zur Vermeidung von Schälspannungen.

Zusätzlich Nieten / Schrauben

Umfalzen

Flächenvergrößerung

Steifigkeitserhöhung

NA DANN VIEL GLÜCK !