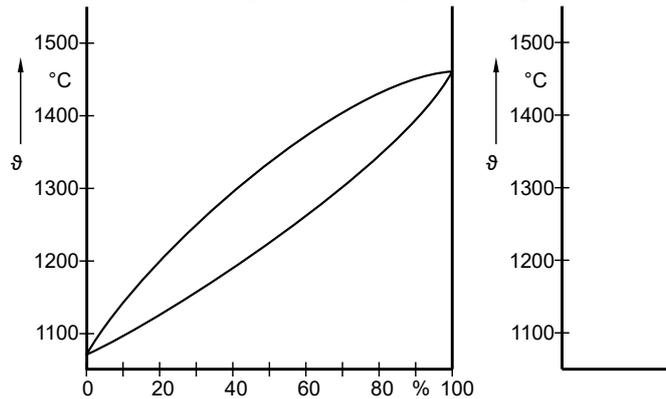




Aufgaben

- 1 Zur Herstellung des Kolbens wird eine Al-Si Legierung verwendet, die als Kristallgemisch erstarrt.
 - 1.1 Welche Voraussetzungen müssen die beiden Legierungsbestandteile erfüllen, damit ein Kristallgemisch entsteht ?
 - 1.2 Skizzieren Sie das Zustandsschaubild von 0 .. 40% Si, wenn das Eutektikum bei 578° C und 11,7% Si entsteht und eine Schmelze mit 40% Si bei 950° zu erstarren beginnt.
 - 1.3 Beschriften Sie die Linien und Felder im Diagramm.

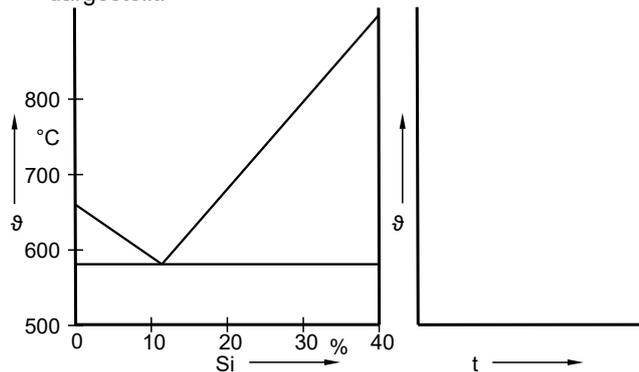
HP01/02-3 Motorradmotor



- 2 Die Lagerbuchsen bestehen aus einer Zweistofflegierung, deren Zustandsdiagramm im Folgenden dargestellt ist.
 - 2.1 Beschriften Sie die Linien und Felder im Zustandsdiagramm.
 - 2.2 Um welchen Legierungstyp handelt es sich, und unter welchen Bedingungen entsteht er ?
 - 2.3 Zeichnen Sie die Abkühlungskurve einer Legierung mit 60 % A und 40 % B auf das Arbeitsblatt. Erläutern Sie den Abkühlungsvorgang. Zustandsdiagramm und Abkühlkurve

HP00/01-3 Getriebewelle

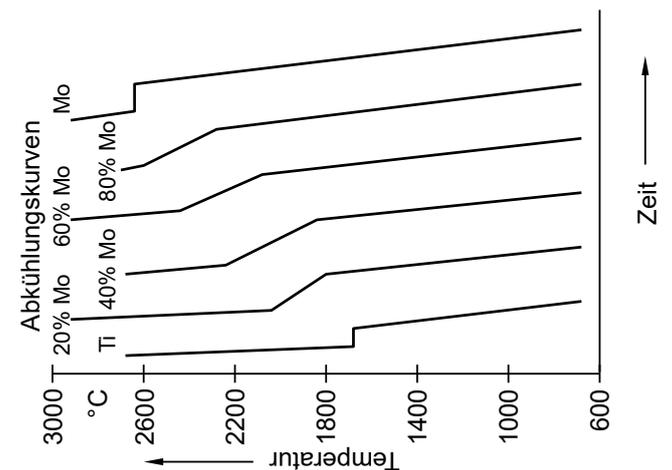
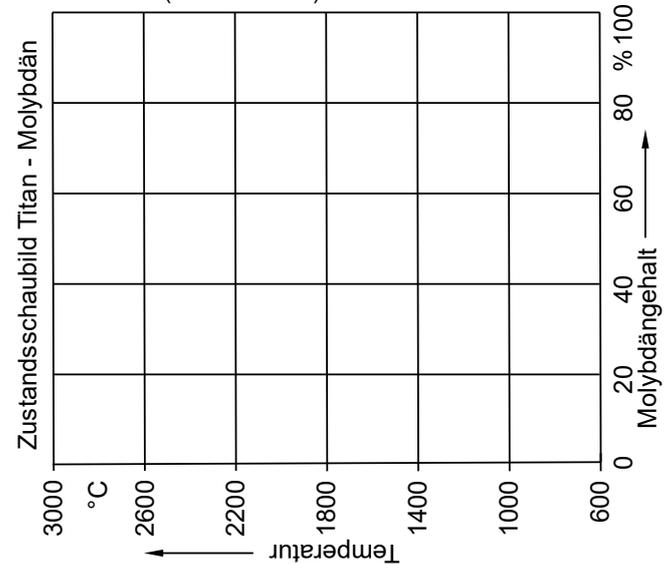
- 3 Für den Sensenholm und für die Sensengriffe werden Legierungen aus Al und Si verwendet. Der Sensenholm wird aus einem gewalzten Rohr gefertigt. Die Griffe werden gegossen. Das Al-Si- Zustandsdiagramm ist im Folgenden dargestellt.



- 3.1 Warum wird für die Sensengriffe die Legierung AlSi12 gewählt ?
- 3.2 Zeichnen Sie auf dem Arbeitsblatt die Abkühlungslinien für die Legierungen AlSi1 und AlSi12. Benennen Sie die dabei auftretenden Gefüge und begründen Sie die Knick- und Haltepunkte.
- 3.3 Skizzieren Sie die Gefüge beider Legierungen bei Raumtemperatur.

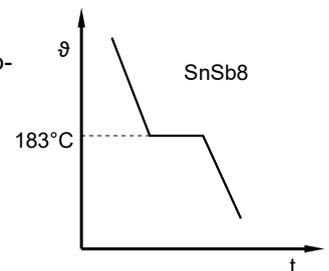
HP99/00-4 Sense

- 4 Die Vordergabel wird aus einer Titan-Molybdän-Legierung hergestellt.
 - 4.1 Konstruieren Sie auf dem Arbeitsblatt 2 aus den Abkühlungslinien das Zustandsdiagramm.
 - 4.2 Beschriften Sie die Linien und Felder im Zustandsdiagramm (Arbeitsblatt 2).



HP 96/97-3 Fahrradrahmen

- 5 Die Buchse besteht aus der Legierung SnSb8 (8%Sb), von deren Komponenten folgendes bekannt ist:
 - Schmelzpunkt Sn = 231°C
 - Schmelzpunkt Sb = 630°C

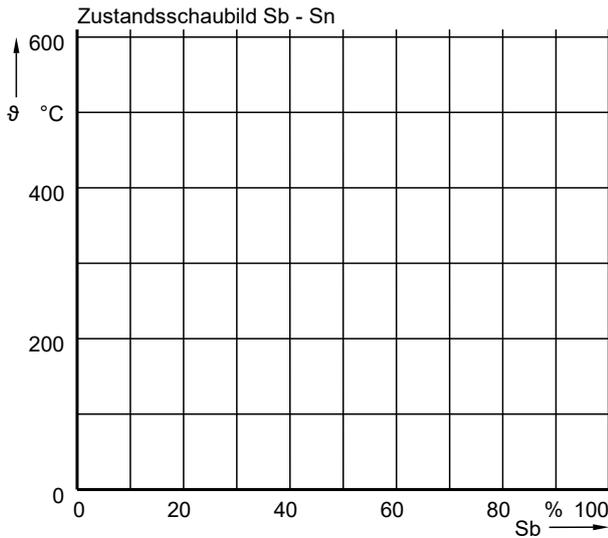


Abkühlkurve der Legierung SnSb8

- 5.1 Zeichnen Sie das Sb - Sn - Zustandsdiagramm auf dem Arbeitsblatt (siehe unten, gerade Linienzüge). Beschriften Sie das Diagramm vollständig.
- 5.2 Wie wird dieser Legierungstyp bezeichnet, und unter welchen Bedingungen kommt dieser zustande ?
- 5.3 Bestimmen Sie für die Legierung mit 60% Sb die Anteile und Zusammensetzung der einzelnen Phasen bei
 - 300 °C
 - Raumtemperatur



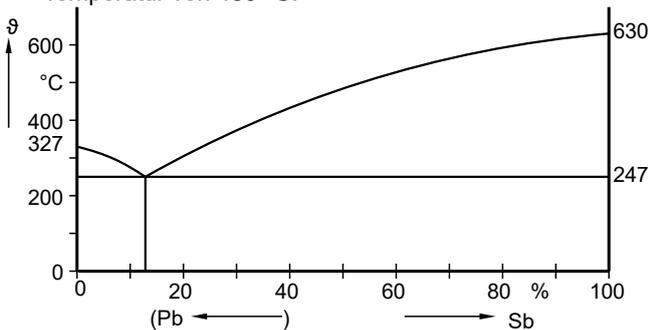
zu Aufgabe 5.1



HP96/97-4 Spannvorrichtung

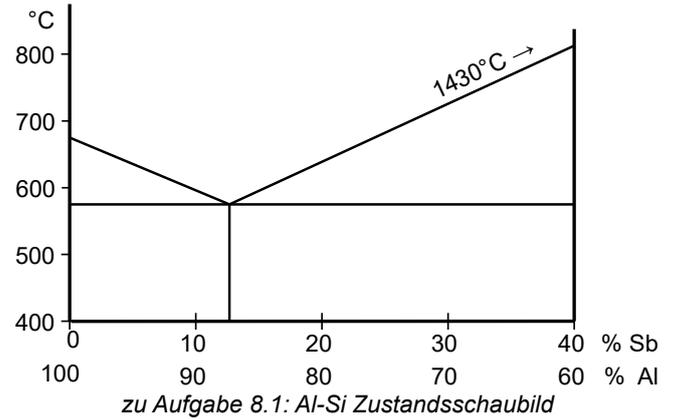
- 6 Die Spindelmutter wurde aus CuSn 8 gegossen und dann spanabhebend bearbeitet.
- 6.1 Die Legierung CuSn8 erstarrt nach dem System „Vollkommene Löslichkeit im festen Zustand“.
Skizzieren Sie die Abkühlungskurve qualitativ.
Erläutern Sie die Gefüge von der Schmelze bis zur Raumtemperatur.
- 6.2 Vergleichen Sie die Legierung CuSn8 („Vollkommene Löslichkeit in festem Zustand“) mit einer Legierung nach dem System „Vollkommene Unlöslichkeit in festem Zustand“ hinsichtlich Gießtemperatur und Erstarrungsverhalten.
- 7 Die Lagerbuchse wird aus einer Blei-Antimon-Legierung hergestellt, deren Zustandsdiagramm im Arbeitsblatt gegeben ist.
- 7.1 Kennzeichnen Sie die Phasenfelder und -linien im Zustandsdiagramm.
- 7.2 Ermitteln Sie die prozentualen Anteile an Schmelze und Kristallen einer Legierung aus 70% Antimon bei einer Temperatur von 480° C.

HP95/96-4 Maschinenschraubstock



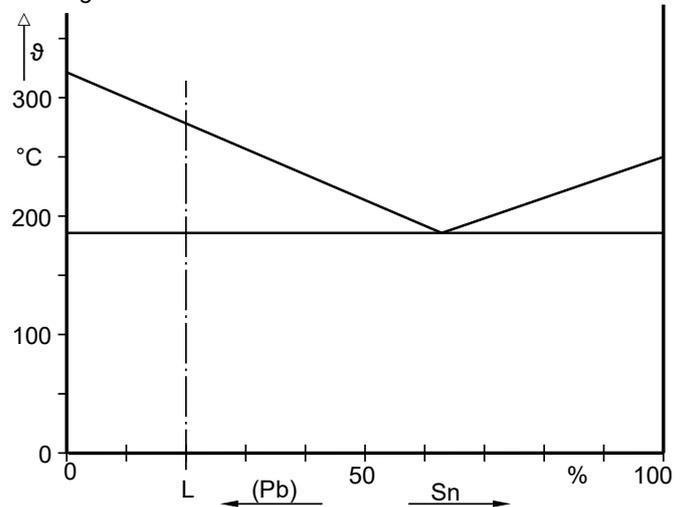
HP91/92-4 Kurbeltrieb

- 8 AlSi
- 8.1 Für das Grundgestell und für den Hebel wird eine Legierung aus Al und Si verwendet (siehe unten).
Warum wird die Legierung AC-AlSi12 (alt: GD-A1Si12) gewählt?
Skizzieren Sie die Abkühlungslinie dieser Legierung.
Skizzieren Sie ein Gefügebild bei Raumtemperatur.



- 8.2 Welche Voraussetzungen bezüglich der Komponenten müssen gegeben sein, damit sie nach dem Zustandschaubild oben erstarren?
Unter welchen Bedingungen würden sich bei anderen Legierungen Mischkristalle bilden?
Nennen Sie die beiden Mischkristalltypen, und geben Sie an, unter welchen Bedingungen sie entstehen.
- 9 Der Nippel des Bremszuges besteht aus einer Blei-Zinn-Legierung und soll bei einer Temperatur von 210 °C in einer Form um das Ende des Drahtseiles gegossen werden.
- 9.1 Aus welchem Teilbereich des Legierungssystems ist die Legierung zu wählen?
- a Tragen Sie diesen Bereich in Ihrem Arbeitsblatt ein (siehe unten).
- b Welche Legierung aus diesem Bereich hat optimale Gieß-eigenschaften?
Begründen Sie Ihre Antwort.

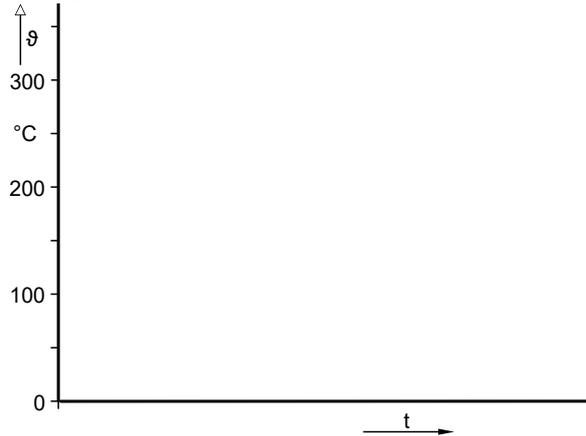
HP90/91-3 Papierlocher



- 9.2 Im Arbeitsblatt ist eine Legierung "L" eingetragen.
- a Skizzieren Sie die Abkühlungskurve dieser Legierung (Arbeitsblatt, siehe unten).
- b Erläutern Sie den Abkühlungsvorgang.
- c Benennen Sie die dabei auftretenden Gefüge.
- d Skizzieren Sie ein Schliffbild bei Raumtemperatur.

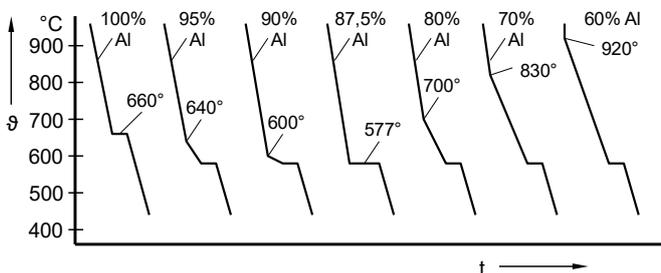


zu Aufgabe 9.2:



HP91/92-3 Bremszug einer Fahrradfelgenbremse

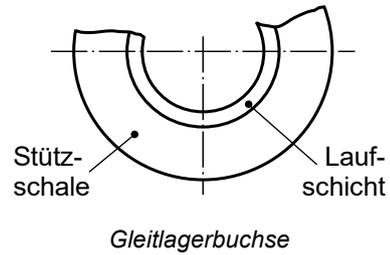
- 10 Die Lagerschalen der Lager A und B bestehen aus einer Blei/Antimon – Legierung. Diese Legierungen sind von vollkommener Unlöslichkeit im flüssigen und festen Zustand.
- 10.1 Skizzieren Sie das Zustandsschaubild qualitativ, wenn das Eutektikum bei 247°C 13% Antimon enthält. Bezeichnen Sie die Linien und Felder in Diagramm.
- 10.2 Skizzieren Sie die Abkühlungskurve von der Schmelze bis zur Raumtemperatur für eine Legierung mit 50 % Blei. Beschreiben Sie die Gefügeänderungen bei den einzelnen Knick- und Haltepunkten.
- 10.3 Erläutern Sie, unter welchen Voraussetzungen sich Mischkristalle bzw. Kristallgemische bilden.
- (HP88/89-3 Antrieb eines Maschinenteiles)
- 11 Für das Gussgehäuse wird eine Legierung aus Al und Si verwendet. Zeichnen Sie mit Hilfe der Abkühlungskurven das Zustandsschaubild für das Legierungssystem für den Bereich von 0... 40% Si. Beschriften Sie die einzelnen Linien und Phasenfelder des Diagramms. Begründen Sie, weshalb die Legierungen AlSi10, AlSi12 und AlSi18 vorzugsweise als Gusslegierungen verwendet werden. Skizzieren Sie das Gefüge der Legierungen AlSi10 und AlSi18. Benennen Sie die einzelnen Gefügebestandteile in der Skizze.



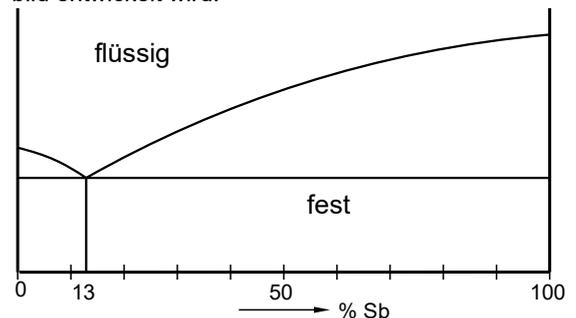
Abkühlungskurven verschiedener Legierungen aus Al und Si

HP87/88-4 Zweistufiges Stirnradgetriebe

- 12 Als Laufschrift für die Gleitlagerbuchse wird die Legierung PbSb13 (mit 13% Sb) verwendet. Die Legierung wird im Schleudergussverfahren auf die Stahlstützschale aufgebracht.



- 12.1 Skizzieren Sie, wie das unten stehende Zustandsschaubild entwickelt wird.



- 12.2 Skizzieren Sie qualitativ die Abkühlungslinie von PbSb40. Erläutern Sie die Gefügeausbildung von der Schmelze bis zur Raumtemperatur, und skizzieren Sie ein Gefügebild.
- 12.3 Erläutern Sie, warum PbSb13 auf Grund von Gefüge und Eigenschaften für die Herstellung des Lagers verwendet wird.

HP 86/87-4: Zahnradpumpe eines Ölbrenners

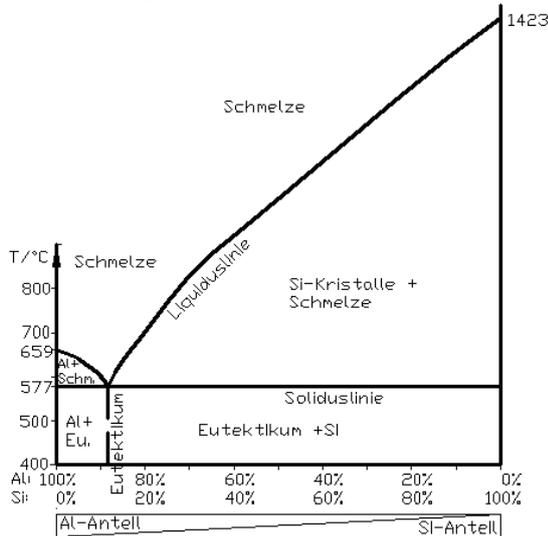
Weitere Aufgaben (nicht Abitur)

- 13 Aus dem Artikel „Kraftpaket: Der V8 des BMW M3“ aus auto motor und sport 24/2007: „Ausschlaggebend für seine Gewichtsreduzierung ist das aus einer übereutektischen Aluminium-Silizium-Legierung im Niederdruck-Kokillengussverfahren hergestellte Zylinderkurbelgehäuse. ... Die eisenbeschichteten Kolben gleiten auf den durch Honen freigelegten Siliziumkristallen der Zylinderlaufbahnen.“
- 13.1 Die Siliziumkristalle der übereutektischen Legierung werden also durch Honen (ein Schleifverfahren) freigelegt und verringern durch ihre Härte den Verschleiß. Begründen Sie, warum dazu eine übereutektische Legierung notwendig ist.



Lösungsvorschläge

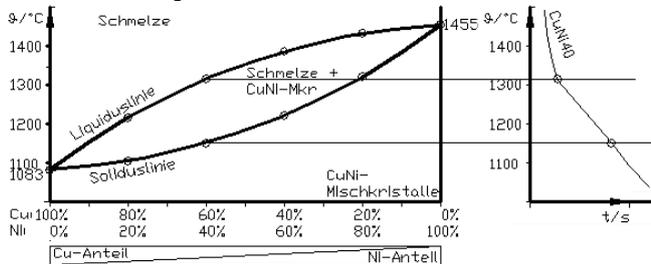
- 1 Kolben aus AlSi
 - 1.1 Sie müssen in festem Zustand vollkommen unlöslich sein. Dies tritt auf, wenn sich die beteiligten Elemente in Atomabstand, Wertigkeit und elektrochemischer Spannungsreihe unterscheiden.
 - 1.2 im Folgenden enthalten
 - 1.3 Zustandsdiagramm Al-Si



Hinweis: es genügt, die linke Seite des Zustandsdiagrammes bis ca. 40% Silizium zu zeichnen.

- 2 Lagerbuchsen aus Zweistofflegierung
 - 2.1 Ersetzen Sie Cu durch die Legierung A und Ni durch die Legierung B, dann muss ich das Diagramm nicht neu zeichnen :-))

Zustandsdiagramm Cu – Ni Abkühlkurve



- 2.2 Es handelt sich um den Legierungstyp Mischkristall. Er entsteht, wenn die beteiligten Elemente A und B im festem Zustand vollkommen löslich sind, und dies der Fall, wenn sie in Atomgröße und Gittertyp ähnlich sind und deshalb die Atome austauschen können.
- 2.3 Die Legierung A60B40 ist oberhalb der Liquiduslinie flüssig. Mit Unterschreiten der Liquiduslinie (knapp über 1350°C) beginnen AB-Mischkristalle aus der Schmelze heraus zu kristallisieren. Durch die frei werdende Kristallisationsenergie wird die Abkühlung verlangsamt (Knickpunkt). Zwischen den beiden Knickpunkten besteht die Legierung aus Schmelze (mit weniger als 40% B) und Mischkristallen (mit mehr als 40% B). Mit Erreichen der Soliduslinie (unter 1200°C) ist die Kristallisation abgeschlossen, das Gefüge besteht vollständig aus AB-Mischkristallen.

3 Sense aus AlSi

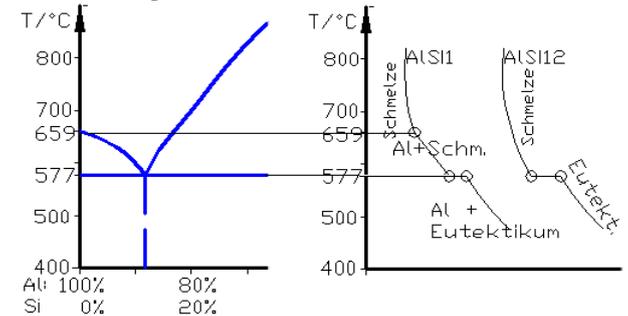
- 3.1 Eine Al-Legierung wird verwendet, weil sie leicht und korrosionsbeständig ist. Die Legierung AlSi12 wird verwendet, weil es eine typische Gusslegierung ist mit den folgenden Eigenschaften:
 - eutektische Zusammensetzung
 - feinkörniges Gefüge mit hoher Festigkeit
 - niedrigster Schmelzpunkt des Zweistoffsystems

– dünnflüssig bis kurz vor dem Erstarren und deshalb fähig, die Gussform gut auszufüllen

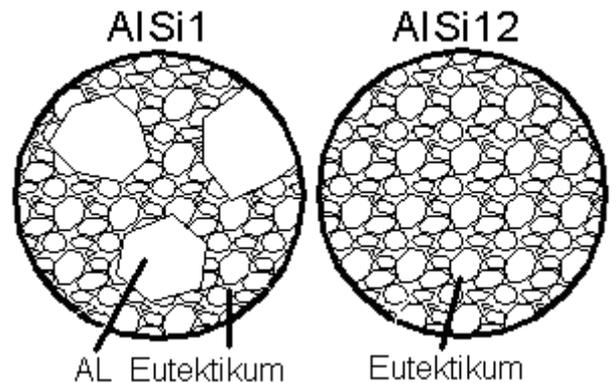
- 3.2 AlSi1: Mit Erreichen der Liquiduslinie (ca. 660°C) beginnen sich Al-Kristalle aus der Schmelze heraus zu bilden. Durch die frei werdende Kristallisationsenergie wird die Abkühlung verlangsamt (oberer Knickpunkt). Bei Erreichen der Soliduslinie (ca. 575°C) erstarrt die restliche Schmelze zum Eutektikum. Dabei wird so viel Energie frei, dass die Temperatur zeitweilig konstant bleibt (Haltepunkt). Sobald dieser Vorgang abgeschlossen ist, fällt die Temperatur wieder ab.

AlSi12: Bei dieser Zusammensetzung entfällt der Knickpunkt, weil die ganze Schmelze gleichzeitig zu Eutektikum erstarrt.

Zustandsdiagramm Al-Si



- 3.3 links AlSi1: Al-Kristalle eingebettet in Eutektikum
rechts: AlSi12: reines Eutektikum, bestehend aus feinen Al-Körnern und Si-Körnern.

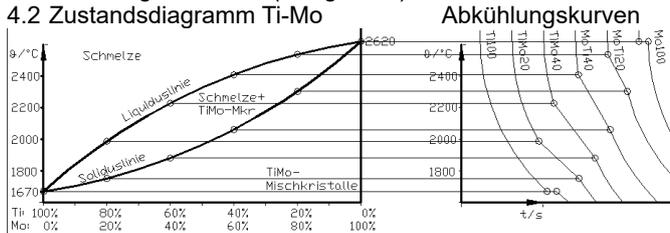




4 Fahrradgabel aus TiMo

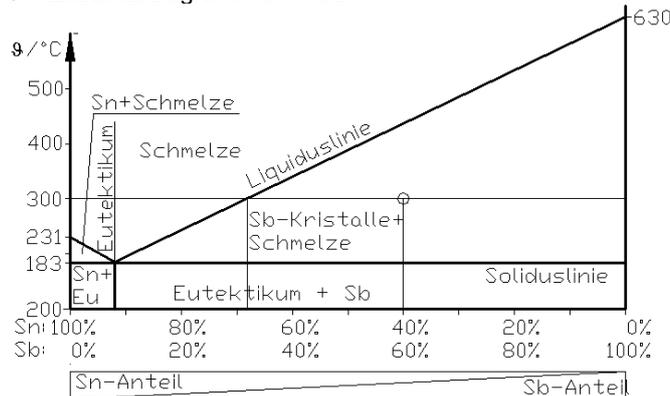
4.1 siehe folgendes Bild (sinngemäß)

4.2 Zustandsdiagramm Ti-Mo



5 Buchse aus SnSb8

5.1 Zustandsdiagramm Sn – Sb



5.2 Es handelt sich um den Legierungstyp Kristallgemisch. Er entsteht, wenn die beteiligten Elemente im festem Zustand vollkommen unlöslich sind, und dies der Fall, wenn sie in Atomgröße und Gittertyp zu stark unterscheiden.

5.3 Bei 300°C besteht Sb60Sn aus Sb-Kristallen und Schmelze mit ca. 32% Sb. Die Anteile der Phasen nach dem Gesetz der abgewandten Hebelarme kann man mit Hebelarmen aus der Zusammensetzung ermitteln:

$$\text{Anteil Sb-Kristalle} = \frac{60-32}{100-32} = 0,42 = 42\%$$

$$\text{Anteil Schmelze} = \frac{100-60}{100-32} = 0,58 = 58\%$$

Bei Raumtemperatur (unter 183°C) besteht Sb60Sn aus Sb-Kristallen und Eutektikum mit ca. 8% Sb.

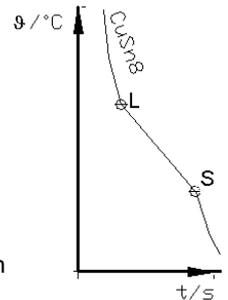
$$\text{Anteil Sb-Kristalle} = \frac{60-8}{100-8} = 0,565 = 56,5\%$$

$$\text{Anteil Eutektikum} = \frac{100-60}{100-8} = 0,435 = 43,5\%$$

6 Spindelmutter aus CuSn8

6.1 Abkühlungslinie CuSn8:

Oberhalb der Liquiduslinie ist CuSn8 flüssig. Mit Unterschreiten der Liquiduslinie (Punkt L) beginnen CuSn-Mischkristalle aus der Schmelze heraus zu kristallisieren. Die Legierung wird zunehmend zähflüssiger (teigig). Durch die frei werdende Kristallisationsenergie wird die Abkühlung verlangsamt (Knickpunkte). Mit Erreichen der Soliduslinie (Punkt S) ist die Kristallisation abgeschlossen, das Gefüge besteht vollständig aus CuSn-Mischkristallen.

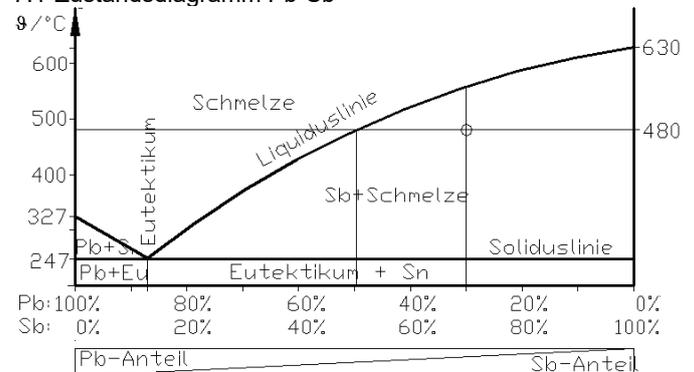


6.2 Legierungen nach dem System „Vollkommene Löslichkeit in festen Zustand“ haben keinen Schmelzpunkt, sondern einen Schmelzbereich. Sie gehen allmählich vom flüssigen in den festen Zustand über. Sie sind zum Gießen in Formen schlecht geeignet, weil sie über die Liquiduslinie erhitzt werden müssen und sich wegen des teigigen Verhaltens schlecht verteilen.

Legierungen nach dem System „Vollkommene Unlöslichkeit in festen Zustand“ haben in der eutektischen Zusammensetzung einen Schmelzpunkt unterhalb der Schmelzpunkte der beteiligten Elemente, d.h., sie müssen nicht hoch erhitzt werden, bleiben lange dünnflüssig und erstarren dann rasch zu einem feinkörnigem Kristallgemisch, dem Eutektikum. Sie sind zum Gießen in Formen gut geeignet. Außerhalb der eutektischen Zusammensetzung ähneln sie gießtechnisch den Legierungen „unlöslich im festen Zustand“.

7 Lagerbuchse aus PbSb

7.1 Zustandsdiagramm Pb-Sb



7.2 Die Lösung gilt für die hier gezeichnete Skizze des Diagramms, für die Skizze in der Aufgabe weicht das Ergebnis etwas ab.

Bei 480°C besteht Sb70Pb aus Schmelze mit ca. 50% Sb und reinen Sb-Kristallen. Nach dem Gesetz der abgewandten Hebelarme (Hebelarme aus den Prozentzahlen der Zusammensetzung der Phasen berechnet) gelten:

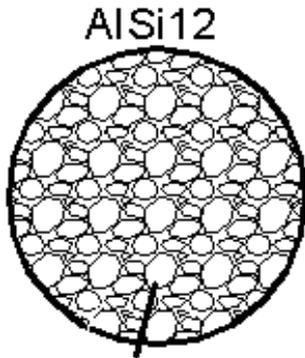
$$\text{Anteil Sb} = \frac{70-50}{100-50} = 0,40$$

$$\text{Anteil Schmelze} = \frac{100-70}{100-50} = 0,60$$



8 Grundgestell aus AlSi

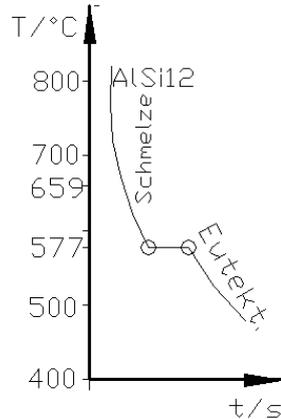
8.1 Eine Al-Legierung wird verwendet, weil sie leicht und korrosionsbeständig ist. Die Gusslegierung AC-AlSi12 wird verwendet, weil sie einen niedrigen Schmelzpunkt hat, lange dünnflüssig bleibt und deshalb gut zu gießen ist. Die relativ guten Festigkeitswerte dieser Legierung dürfen in diesem Fall eine untergeordnete Rolle spielen
Abkühlungskurve (rechts)
Gefügebild (unten)



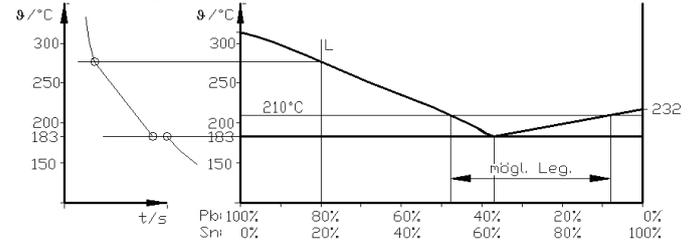
Eutektikum

Das Eutektikum besteht aus einem feinkörnigen Kristallgemisch aus Si-Kristallen und Al-Kristallen.

8.2 Die vorliegende Zweistofflegierung erstarrt als Kristallgemisch, weil Aluminium und Silicium in festem Zustand weitgehend unlöslich sind. Dies tritt auf, wenn sich die beteiligten Elemente in Atomabstand, Wertigkeit und elektrochemischer Spannungsreihe unterscheiden. Mischkristalle entstehen, wenn die beteiligten Elemente in festem Zustand löslich sind. Es gibt Einlagerungsmischkristalle, wenn die Fremdatome sehr klein sind im Vergleich zu den Wirtsatomen und sich auf Zwischengitterplätzen (in Gitterlücken) einlagern (z.B. C in Fe). Bei Substitutionsmischkristallen sitzen die Fremdatome auf Gitterplätzen.



9 Bremszugnippl aus PbSn



Abkühlungskurve „L“ Zustandsdiagramm

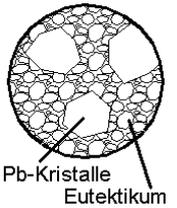
9.1 Die Legierung muss aus dem Bereich gewählt werden, in dem die Liquiduslinie unter 210°C liegt, damit die Schmelze bei dieser Temperatur noch vollkommen flüssig sein soll. (siehe Diagramm: „mögliche Legierung“)

Die besten Gießeigenschaften hat die eutektische Legierung mit 63% Zinn. Sie hat den niedrigsten Schmelzpunkt aller Pb-Sn-Legierungen und ist bis kurz vor dem Erstarren dünnflüssig. Darüber hinaus hat das eutektische Gefüge günstige mechanische Eigenschaften.

9.2 Abkühlungskurve: Wenn die flüssige Legierung bis zur Liquidustemperatur (ca. 280°C) abgekühlt ist, beginnen Pb-Kristalle aus der Schmelze heraus zu kristallisieren. Durch die frei werdende Kristallisationsenergie wird die Abkühlung verlangsamt (oberer Knickpunkt). Die verbleibende Schmelze reichert sich mit Zinn an. Bei Erreichen der Soliduslinie (ca. 183°C) erstarrt die restliche Schmelze, jetzt mit 63% Sn, zum Eutektikum. Dabei wird so viel Energie frei, dass die Temperatur zeitweilig konstant bleibt (Haltepunkt). Sobald dieser Vorgang abgeschlossen ist, fällt die Temperatur wieder ab.

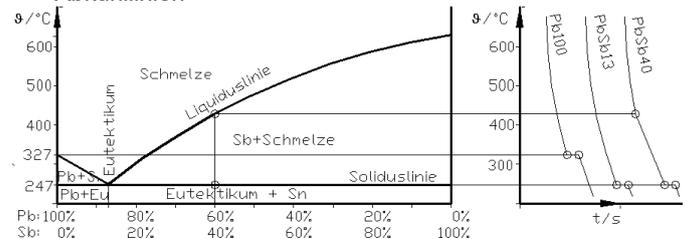
Schliffbild

Das Gefüge besteht aus Pb-Kristallen, umgeben von Eutektikum. Das Eutektikum besteht aus einem feinkörnigen Kristallgemisch aus Pb-Kristallen und Sn-Kristallen.



10 Lagerschalen aus PbSb

10.1 Zustandsdiagramm Pb – Sb
Abkühlkurven



10.2 Im Bild oben ist entgegen der Aufgabe nicht die Abkühlungskurve von Pb50Sb, sondern von PbSb40 gezeichnet, was aber nichts Wesentliches ändert.

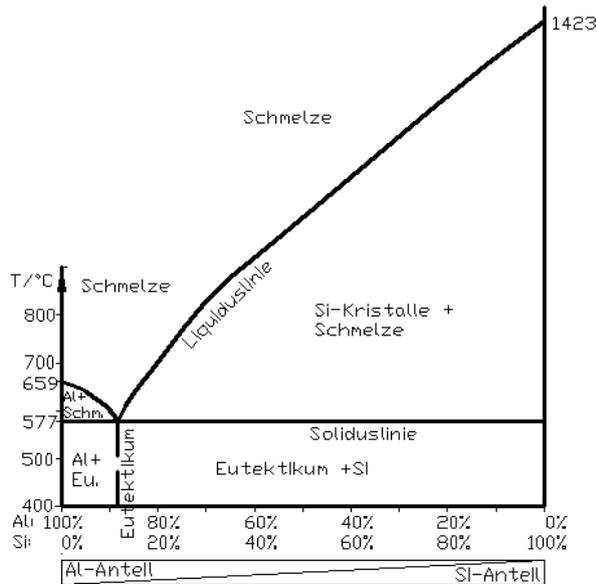
Oberhalb der Liquiduslinie (des obersten Knickpunktes) ist die Legierung geschmolzen. Zwischen Liquidus- und Soliduslinie (den Knickpunkten) kristallisiert Sb aus der Schmelze heraus. Die frei werdende Kristallisationsenergie verlangsamt die Abkühlung. Bei der Soliduslinie kristallisiert die Restschmelze zum Eutektikum. Es wird so viel Kristallisationsenergie frei, dass die Temperatur zeitweise konstant bleibt.

10.3 Mischkristalle entstehen, wenn die beteiligten Elemente in festem Zustand löslich sind. Vollkommene Löslichkeit ist nur möglich, wenn die Elemente ähnliche Größe und Gittertyp besitzen.

Zweistofflegierungen erstarren als Kristallgemisch, wenn die beteiligten Elemente in festem Zustand unlöslich sind. Dies tritt auf, wenn sich die beteiligten Elemente in Atomabstand, Wertigkeit und elektrochemischer Spannungsreihe unterscheiden.



11 Gussgehäuse aus AlSi



Zustandsschaubild Al-Si

Hinweis: es genügt, die linke Seite des Zustandsdiagrammes bis ca. 40% Silizium zu zeichnen.

Gusslegierungen:

Die Legierung AlSi10, AlSi12 und AlSi18 liegen nahe des Eutektikums, ihr Gefüge hat die folgenden typischen Eigenschaften:

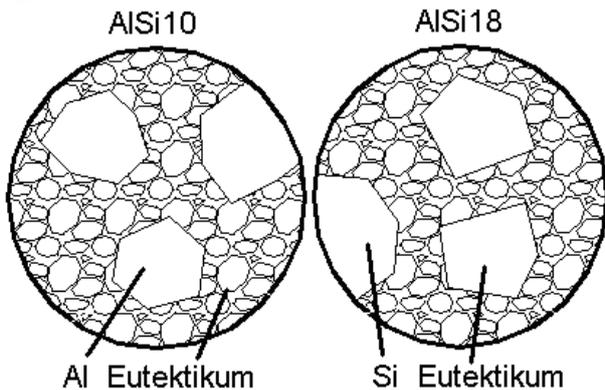
- eutektische Zusammensetzung
- feinkörniges Gefüge mit hoher Festigkeit
- niedrigster Schmelzpunkt des Zweistoffsystems
- dünnflüssig bis kurz vor dem Erstarren und deshalb fähig, die Gussform gut auszufüllen

Gefüge

links AlSi10: Al-Kristalle eingebettet in Eutektikum

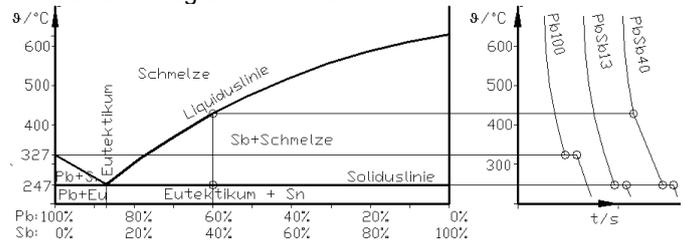
rechts: AlSi18: Si-Kristalle im Eutektikum

Das Eutektikum besteht aus feinen Al-Körnern und Si-Körnern.



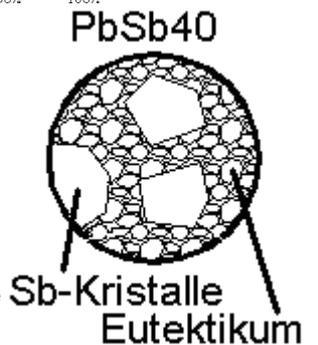
12 Gleitlager aus PbSb13

12.1 Das Zustandsschaubild wird aus einer Schar von Abkühlungskurven verschiedener Zusammensetzungen entwickelt. Die Knick- und Haltepunkte, die Beginn und Ende von Kristallisationsvorgängen repräsentieren, werden in das Zustandsschaubild übertragen und sinnvoll zu Phasengrenzen verbunden (siehe folgendes Bild). Zustandsdiagramm Pb - Sb Abkühlkurven



12.2 Oberhalb der Liquiduslinie (des obersten Knickpunktes)

ist die Legierung geschmolzen. Zwischen Liquidus- und Soliduslinie (den Knickpunkten) kristallisiert Sb aus der Schmelze heraus. Die frei werdende Kristallisationsenergie verlangsamt die Abkühlung. Bei der Soliduslinie kristallisiert die Restschmelze zum Eutektikum. Es wird so viel Kristallisationsenergie frei, dass die Temperatur zeitweise konstant bleibt.



Das feste Gefüge besteht aus Sb-Kristallen in Eutektikum. Das Eutektikum ist ein feinkörniges Kristallgemisch aus Pb-Kristallen und Sb-Kristallen (siehe Bild rechts).

12.3 PbSb13 hat die eutektische Zusammensetzung und ist zum Gießen besonders gut geeignet, weil es einen niedrigen Schmelzpunkt hat und bis zum Erstarren dünnflüssig bleibt.

Das feinkörnige Gefüge enthält Kristalle aus Blei mit günstigen Lagereigenschaften.

13 Eine untereutektische Legierung (Si < 12%) besteht aus Al-Kristallen in Eutektikum, und diese sind zu weich für Verschleißschutz. Eine übereutektische Legierung (Si > 12%) besteht aus Si-Kristallen in Eutektikum, und diese sind hart und verschleißfest.