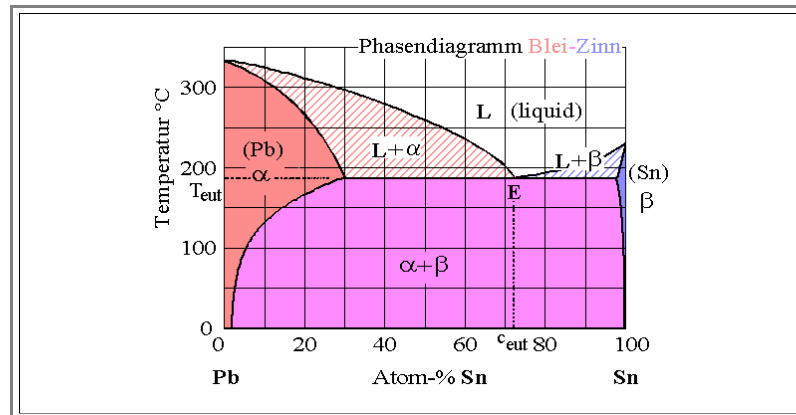


5.4.3 Kompliziertere Phasendiagramme: Eutektika

Betrachten wir zunächst das einfachste der "komplizierten" Phasendiagramme: Zwei Substanzen **A** und **B** mit einer **Mischungslücke**, die auch nicht miteinander reagieren, d.h. keine Verbindungen der Form $A_x B_y$ formen. Ein gutes Beispiel ist **Lötzinn**, das System **Sn - Pb**.

- **Mischungslücke** heißt, dass in einem bestimmten Bereich der Zusammensetzung sich **A** und **B** nicht mischen, d.h. keinen Mischkristall bilden. Wir haben dann eine **Mischphase** vorliegen, ein Gemenge aus den Phasen $\alpha + \beta$
- Wir nennen die Phasen absichtlich α und β , und nicht etwa **A** und **B**. Denn α und β sind eben nicht z.B. Körner aus **reinem A** bzw. **B**, sondern Körner aus hauptsächlich **A**, die aber noch bis zur Löslichkeitsgrenze **B** enthalten bzw. **B** mit gelöstem **A**, eben $\alpha + \beta$.
- Grundsätzlich kann man das Phasendiagramm für diesen Fall genauso aus freien Enthalpiebetrachtungen ableiten wie **bereits geschehen**; dies wird in einem **"Advanced" Modul** noch etwas näher erläutert.

Das Phasendiagramm ist im folgenden Bild gezeigt



Zunächst erkennen wir die Phasen $\alpha = [\text{Pb mit einer relativ großen Menge an gelöstem Sn}]$, maximal **19 Gewichts %** oder **30 Vol. %**, und $\beta = [\text{Sn mit einer kleinen Menge an gelöstem Pb}]$, maximal **2,5 Gewichts %**.

- Die beiden Kurven, die diese Phasen bis zum Maximalwert von der anderen festen Phase $\alpha + \beta$ trennen, sind nichts anderes als die Löslichkeitskurven der atomaren Fehlstellen (**Sn in Pb** bzw. **Pb in Sn**) in der **Phasendiagrammdarstellung**.

- Daß die Löslichkeit der jeweiligen atomaren Fehlstelle oberhalb der charakteristischen Temperatur T_{eut} wieder abzunehmen scheint, hat einen anderen Grund: Die Phase schmilzt, bevor die maximale Löslichkeit erreicht ist.

Auch der Bereich $\alpha + \beta$ ist klar. Wir haben ein **instabiles Zweiphasengebiet**. In diesem Bereich wird jede Mischung in die nebeneinander und gleichzeitig vorliegenden Phasen α und β "zerfallen". Es gilt das **Hebelgesetz** für die relativen Anteile der beiden Phasen. Dass jetzt beide Phasen fest sind, ist dabei unerheblich.

- Wenn wir das **Gefüge** des Festkörpers anschauen, finden wir α und β Bereiche, d.h. fast reines **Sn** und relativ reines **Pb**, in irgendeiner Anordnung vermischt.

Die beiden "**Hörner**" sind uns auch schon bekannt: Hier liegt eine Mischung **fest - flüssig** vor, genau wie im Beispiel des **Si - Ge Systems** des vorhergehenden Unterkapitels. Hier können wir auch verstehen, was ein fest - flüssig Gemisch in der Realität bedeutet.

- Jeder, der schon mal gelötet hat, weiß, daß bei zu tiefen Temperaturen "**kalte**" Lötstellen auftreten. Das Lotzinn scheint nicht richtig flüssig zu sein, sondern hat eine breiige Konsistenz. Das ist genau die **L + α** Phase des Phasendiagramms.

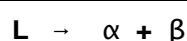
- In einer **Sn** - reichen Flüssigkeit schwimmen **Pb** - reiche feste Kristalle, oder, mehr wahrscheinlich, die kältere Außenseite ist fest und **Pb** - reich, die Innenseite ist flüssig und **Sn** - reich.

Um zu sehen, was in diesem Phasendiagramm möglich ist, betrachten wir, was geschieht, wenn wir von einer gegebenen Zusammensetzung (z. B. einer **Pb reichen** Schmelze) ausgehen und abkühlen.

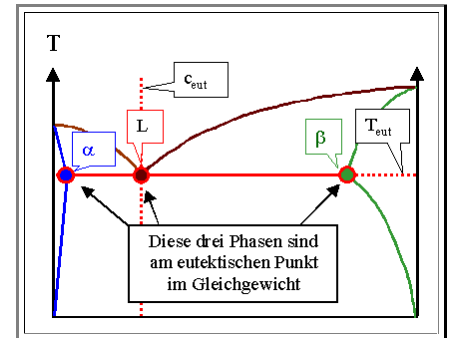
- Solange wir oberhalb der durch die **eutektischen Temperatur T_{eut}** definierten Linie bleiben, wird sich das System in eine **fest**, **Pb** - reiche, und eine **flüssige**, **Sn** - reiche Phase aufspalten.

- Starten wir von der **Sn** - reichen Seite aus, ist die Lage entsprechend.

Bei einer bestimmten Zusammensetzung, gegeben durch **eutektische Konzentration c_{eut}** (die Konzentration am Punkt **E**), findet jedoch **keine** Aufspaltung statt. Hier erfolgt ein **direkter** Übergang vom flüssigen in den festen Zustand, es erfolgt die **eutektische Reaktion**

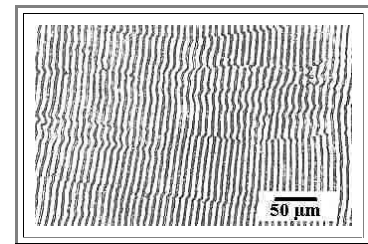


- Nochmals: Bei c_{eut} haben wir einen *direkten* Übergang vom Liquidus zu *zwei* festen Phasen. Das hat, sofort erkennbar, erhebliche technische Bedeutung!
- Allein schon die Bedingung der *Nichtmischbarkeit* erfordert eine solche Reaktion, denn bei irgendeiner Konzentration der Flüssigphase müssen sich die beiden fest - flüssig Phasengebiete $L + \alpha$ und $L + \beta$ ja mal treffen.
- Am dadurch definierten und ziemlich häufig erscheinenden **eutektischen Punkt** sind notwendigerweise **3** Phasen miteinander im Gleichgewicht: L , α und β .
- Die *Phasenregel* erlaubt damit *keinen* Freiheitsgrad mehr; *Temperatur* und *Zusammensetzung aller* Phasen sind festgelegt; siehe die Graphik
- Die zwei festen Phasen α und β in ihrer jeweiligen Zusammensetzung müssen also notwendigerweise durch eine *Linie* mit konst. Temperatur verbunden sein, damit ist die allg. Struktur des Phasendiagramms klar.
- Daß der eutektische "*Punkt*" im Phasendiagramm als "*Linie*" erscheint, ist zwar etwas verwirrend, aber in Bezug auf die Temperatur ist es trotzdem ein Punkt. Und nur darauf kommt es an



Was bedeutet das hübsche Wort "*Eutektikum*"? Es ist griechisch und heißt "*gut schmelzend*" oder auch "schön gefügt; wohl aufgebaut". Denn die eutektische Zusammensetzung einer Zweistoffmischung oder Legierung hat zwei bemerkenswerte Eigenschaften:

- 1. Die eutektische Zusammensetzung schmilzt komplett bei der *tiefstmöglichen* Temperatur.
- 2. Die Schmelze erstarrt *direkt*, ohne sich vorher in zwei Phasen zu zerlegen, wieder in die eutektische Zusammensetzung. Wir müssen also ein **Eutektikum** zweier Stoffe nicht ganz langsam abkühlen, um die Zusammensetzung halbwegs homogen zu halten, sondern können so schnell abkühlen wie wir wollen. Wie so was aussehen kann ist rechts gezeigt. Wir haben ziemlich ordentliche "schön gefügte" Lamellen aus abwechselnd **Pb** und **Sn**.
- Sicherlich wird das Gefüge von der Abkühltemperatur abhängen, aber die zuletzt erstarrten Gebiete haben dieselbe generelle Zusammensetzung wie die zuerst erstarrten.



- Die eutektische Reaktion $L \rightarrow \alpha + \beta$ ist *eine* der sogenannten **invarianten Reaktionen** die in Zweistoffsystemen ablaufen können. Dabei entsteht aus *zwei* Phasen eine *dritte* Phase bzw., in der Rückwärtsreaktion wie oben notiert, entstehen *zwei* Phasen aus *einer* Phase.
- *Invariant*, heißen diese Reaktionen deshalb, weil nach der Phasenregel keine Freiheitsgrade mehr existieren, d.h. Temperatur und Zusammensetzung sind *unveränderlich* festgelegt, sie sind *invariant*, eben nicht mehr variant = variabel
- Dabei sind dann auch noch weitere Phasen, z.B. Verbindungen der Form A_xB_y zugelassen.
- Wir wollen hier aber nicht mehr weiter in die Systematik der Phasendiagramme eindringen, sondern zum Abschluß und zur Illustration des bisher Gelernten, noch ein wirklich kompliziertes Phasendiagramm diskutieren. Damit kommen wir zum letzten Unterkapitel des Generalthemas "Gleichgewichte".