

Was ich schon immer wissen wollte ...

#2

Glühen von Stählen/Metallen

-

Grobkornglühen

Diffusionsglühen

Spannungsarmglühen

Rekristallisationsglühen

Perlitglühen

Weichglühen

Ferritisierungsglühen

Normalglühen

Lösungsglühen

Patentieren

Zähglühen

GKZ Glühen



mem

meier eMOTION

Bächlegatterweg 13
Postfach 207
FL-9495 Triesen
Liechtenstein
+41 79 742 75 46
alex@meier-emotion.li
www.meier-emotion.com
www.mmm3.li

© meier eMOTION / 2026

Glühen von Stählen/Metallen — Zweck, Ziele und Nutzen

Unter **Glühen** versteht man eine gezielte **Wärmebehandlung von Metallen**, insbesondere von Stählen, bei der der Werkstoff auf eine definierte Temperatur erwärmt, dort gehalten und anschließend kontrolliert abgekühlt wird. Ziel ist es, den **mikrostrukturellen Zustand** des Materials gezielt zu verändern, ohne dessen äußere Form zu beeinflussen.

Je nach Glühverfahren können dabei unterschiedliche **werkstofftechnische Effekte** erzielt werden: Der Abbau von **Eigenspannungen**, die **Einstellung der Härte und Festigkeit**, die **Verbesserung der Umform- und Zerspanbarkeit**, die **Homogenisierung des Gefüges**, oder die **Beeinflussung der Korngröße**.

Glühbehandlungen dienen damit sowohl der **Qualitätssicherung**, als auch der **Prozessoptimierung** in der Fertigung.

Richtig angewendet ermöglicht das Glühen eine **gezielte Anpassung der Materialeigenschaften an die jeweilige Anwendung**, reduziert das Risiko von Rissbildung oder Verzug und erhöht die **Zuverlässigkeit sowie Lebensdauer von Bauteilen**. Es ist damit ein zentrales Werkzeug, um Werkstoffe nicht nur zu formen, sondern sie **funktional einzustellen**.



Gesamtübersicht – Glühverfahren für Stähle (12 Verfahren)

Nr.	Glühverfahren	Ziele / Zweck	Gefügeveränderung	Typische Stähle	Standard-Prozessparameter (Richtwerte)	Lage im Fe-C-Diagramm	Kosten (1–5)
1	Grobkornglühen	Spanbarkeit ↑, Fließspan ↓	Starkes Kornwachstum , grober Perlit/Ferrit	niedrig C-Stähle, Einsatzstähle	~950–1100 °C, lange Haltezeit, langsame Abkühlung	weit > Ac3 , γ-Gebiet	4 1(+) ... 5(+++++)
2	Diffusionsglühen	Abbau von Seigerungen, chem. Homogenität	Chemisch homogener Austenit, sehr grobes Korn	hochlegierte, massive Guss-/Schmiedestücke	~1050–1250 °C, 10–50 h, Ofenabkühlung	tief im γ-Gebiet	5
3	Spannungsarmglühen	Eigenspannungen ↓, Verzug ↓	Keine sichtbare Gefügeänderung , Erholung	alle Stähle	~450–650 °C, 1–4 h	< Ac1 , α-Gebiet	2
4	Rekristallisationsglühen	Kaltverfestigung abbauen, Duktilität ↑	Neubildung feiner, äquiaxialer Körner	kaltumgeformte un-/niedriglegierte Stähle	~450–700 °C, kurz	< Ac1 , α-Gebiet	2–3
5	Perlitglühen	Definiertes perlitisches Gefüge	Lamellarer Ferrit + Zementit (Perlit)	~0,3–0,8 % C	Austenitisieren, dann langsame Abkühlung	Umwandlung Ac1 → Ar1	3
6	Weichglühen	Härte ↓, Zerspanbarkeit ↑	Sphäroidisierung des Zementits	mittel-/hoch-C-Stähle, Werkzeugstähle	~650–720 °C, sehr lange Zeit	< Ac1 , α + Fe ₃ C	3–4
7	Ferritisierungsglühen	Max. Weichheit, Ferritanteil ↑	Perlit → nahezu reiner Ferrit	niedrig-C-Stähle (≤0,3 % C)	~600–700 °C, lange Zeit	< Ac1 , α-Gebiet	3
8	Normalglühen	Feinkorn, homogener Referenzzustand	Feiner Ferrit + Perlit	un-/niedriglegierte Stähle	~30–80 °C > Ac3 , Luft	> Ac3 , Luftabkühlung	2–3
9	Lösungsglühen	Ausscheidungen lösen, Korrosion ↑	Homogener Mischkristall , keine Carbide	austenitische, Duplex-, PH-Stähle	~1000–1100 °C, schnelles Abschrecken	tief im γ-Gebiet	4
10	Patentieren	Ultrafeiner Perlit für Kaltziehen	Sehr feiner, isothermer Perlit	Drahtstähle 0,4–1,0 % C	~900–1050 °C → 450–550 °C isotherm	γ → isothermer Perlit	4
11	Zähglühen	Zähigkeit ↑, Sprödigkeit ↓	Abgerundete Ausscheidungen, angelassene Gefüge	Vergütungs- & höherfeste Stähle	~500–700 °C, < Ac1	< Ac1	2–3
12	GKZ-Glühen (Grobkornzerstörung)	Grobkorn beseitigen, Zähigkeit ↑	Kornverfeinerung nach Grobkorn	un-/niedriglegierte Stähle	~850–950 °C, moderat	> Ac3 , kontrolliert	3

Grobkornglühen

1) Wann wird Grobkornglühen angewendet?

- Typisch am Halbzeug / Vorprodukt oder am vorbearbeiteten Werkstück, vor einer **umfangreichen Zerspanung** (Drehen/Fräsen/Räumen).
- Nicht als „ letzter Schritt “ am Fertigteil, weil die resultierende Grobkörnigkeit die **Gebrauchseigenschaften** meist verschlechtert (v. a. Zähigkeit).

2) Ziele & was passiert im Gefüge?

Primärziel (Industriepraxis):

- **Spanbarkeit verbessern / Spanbruch fördern** → weniger Fließspan („ Schmieren “), bessere Oberflächen.

Gefüge-/Werkstoffmechanismus:

- Glühen **weit über Ac3** → vollständige Austenitisierung + **Austenitkorngrenzen wandern, Korn wächst** (Energie-/Korngrenzflächenreduktion).
- Beim anschließenden Abkühlen entstehen entsprechend **größere Ferrit-/Perlitbereiche** (größere „ Kolonien “, größere Körner) → **geringere Zähigkeit/Festigkeit**, aber **günstiger Spanbruch**.

Nicht das Hauptziel:

- „ Spannungen reduzieren “ → dafür ist **Spannungsarmglühen** (viel niedrigere Temperaturen) das Standardverfahren, nicht Grobkornglühen.

3) Gefügebild vor/nach (schematisch)

Vorher (feiner): viele Korngrenzen, feine Perlitkolonien

```
|.|.|.|.|.|.|
|.|.|.|.|.|.|
```

Nachher (grob): größere Körner/Perlitkolonien, weniger Korngrenzen

```
|.....|.....|
|.....|.....|
```

(Das ist bewusst nur eine Struktur-Skizze; reale Mikrogefüge hängen stark von C-Gehalt, Vorzustand, Haltezeit und Abkühlführung ab.)

4) Bei welchen Stählen?

- Vor allem **kohlenstoffarme bis untereutektoide Stähle** ($C < 0,8 \%$), besonders **Einsatzstähle** (typisch $\leq \sim 0,2 \%$ C), die beim Zerspanen zum **Schmieren/Fließspan** neigen.

5) Wo liegt das in einer typischen Prozessabfolge (Bauteilfertigung)?

Ein gängiges Muster (Beispiel):

1. Halbzeug (Walz-/Schmiedezustand)
2. **Grobkornglühen** (Zerspanbarkeit einstellen)
3. Grob-/Fertigbearbeitung spanend
4. Danach (je nach Ziel): **Normalglühen / Weichglühen / Vergüten / Einsatzhärten** etc.
→ Grobkornglühen ist damit **ein fertigungsbegleitender Schritt**, nicht der Endzustand.

6) Zusätzliches Glühen am fertigen Bauteil sinnvoll?

- Meist ja — aber nicht als „Grobkornzustand“.
- Wenn das Fertigteil definierte Eigenschaften braucht (z. B. **Zähigkeit, Festigkeit, definierte Härte**), ist nach der Zerspanung typischerweise **ein anderes** Wärmebehandlungsziel sinnvoll, z. B.:
 - **Normalglühen** (Gefüge „fein & homogen“),
 - **Weichglühen** (bessere Umformbarkeit/Zerspanbarkeit für Folgeschritte),
 - **Vergüten** (Quenchen+Anlassen),
 - **Einsatzhärten** etc.
- Ein „finales“ Grobkornglühen ist i. d. R. **kontraproduktiv**, weil es Zähigkeit reduziert.

7) In welchem Ofen?

- Üblich sind **Kammer-/Hauben-/Durchlauföfen** (Chargen- oder kontinuierlich) mit **Schutzgas** oder definierter Atmosphäre (je nach Oxidations-/Entkohlungsrisiko).
- **Vakuumofen** ist möglich, aber für dieses Ziel häufig **nicht wirtschaftlich nötig** (eher bei Anforderungen an blanke Oberfläche/keine Oxidation).

8) Standard-Prozessparameter (Temperatur, Zeit, Atmosphäre)

Temperaturbereich:

- grob 950—1100 °C, im Mittel etwa ~150 °C über Ac3.

Haltezeit:

- ausreichend lang zur Kornvergrößerung: **mehrere Stunden bis sehr lang**, teils bis ~50 h (stark dicke-/anlagenabhängig).

Abkühlung:

- **langsam im Ofen** mindestens bis zur $\gamma \rightarrow \alpha$ -Umwandlung (Richtung Ar1), danach kann **beschleunigt** werden (z. B. Luftstrom).

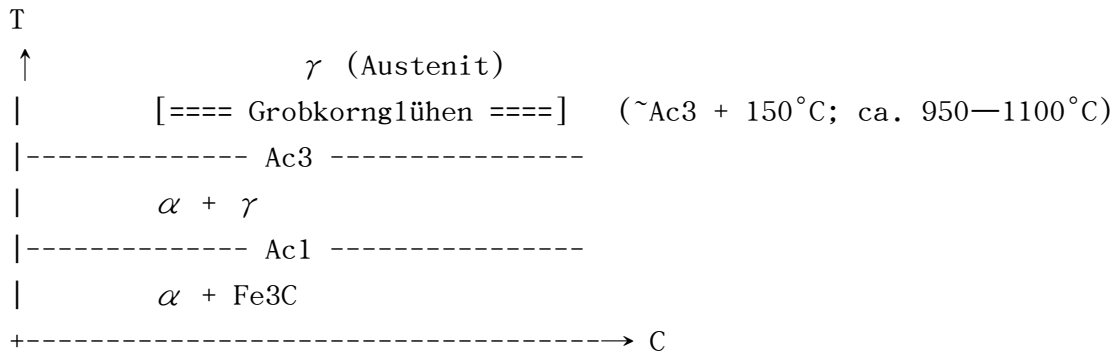
Atmosphäre:

- häufig **Schutzgas / kontrollierte Ofenatmosphäre** (Vermeidung Zunder/Entkohlung); konkrete Gase sind betriebs-/werkstoffabhängig.

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm (Skizze als „Temperaturband“)

- **Untereutektoide Stähle:** Grobkornglühen liegt deutlich oberhalb Ac_3 , also im voll-austenitischen (γ) Bereich.

Schematisch (Temperaturachse nach oben):



10) Kosten-Impact (Skala 1—5) vs. „typische“ Glühverfahren

Einschätzung: 4/5

Begründung: hohe Temperatur + häufig lange Haltezeiten + Ofenbelegung $\Rightarrow$ deutlich energie- und kapazitätsintensiver als z. B. Spannungsarmglühen oder Normalglühen (je nach Charge/Geometrie). (Die exakte Einstufung schwankt stark nach Losgröße, Werkstückdicke, Ofentyp, Atmosphäre und Qualitätsanforderungen.)

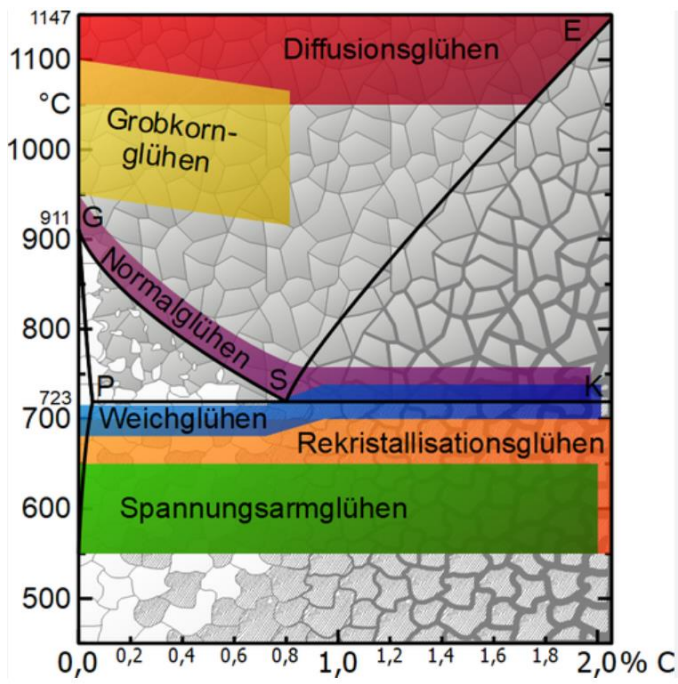
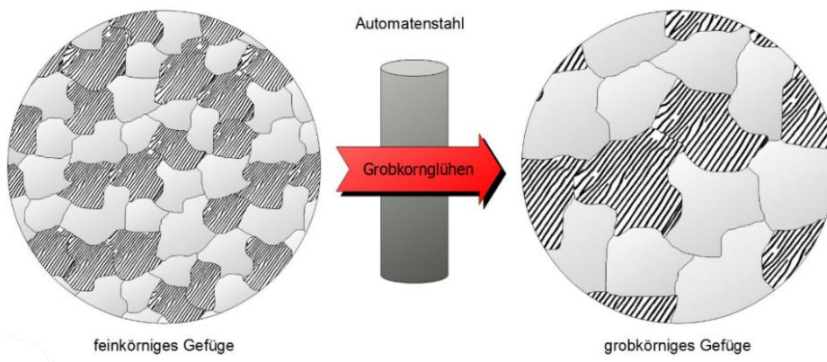
Kurzfazit:

Grobkornglühen ist ein gezielt zerspanungsorientiertes Glühverfahren.

Durch Glühen weit oberhalb Ac_3 wird ein **grobkörniges Gefüge** eingestellt, das die **Spanbildung verbessert** und Fließspanbildung reduziert.

Das Verfahren wird **bewusst als Zwischenprozess** eingesetzt, da die resultierende **Zähigkeit und Festigkeit vermindert** sind und der Zustand **nicht endgebrauchstauglich** ist.

Eine **nachfolgende kornverfeinernde Wärmebehandlung** (z. B. Normalglühen, GKZ-Glühen oder Vergüten) ist in der Regel erforderlich.



Diffusionsglühen (Homogenisierungsglühen)

1) Wann wird Diffusionsglühen angewendet?

- Sehr früh im Fertigungsprozess, typischerweise
 - am Gussblock / Schmiederohling / Stranggießhalbzeug,
 - nach dem Gießen, vor intensiver Umformung (Walzen, Schmieden).
- Nicht am Fertigteil und nicht als letzter Prozessschritt.

2) Ziele & Gefügeänderungen

Hauptziele:

- Abbau chemischer Inhomogenitäten (Seigerungen, Bänderungen aus Erstarrung)
- Ausgleich von Konzentrationsgradienten (C, Mn, Cr, Mo, Ni etc.)

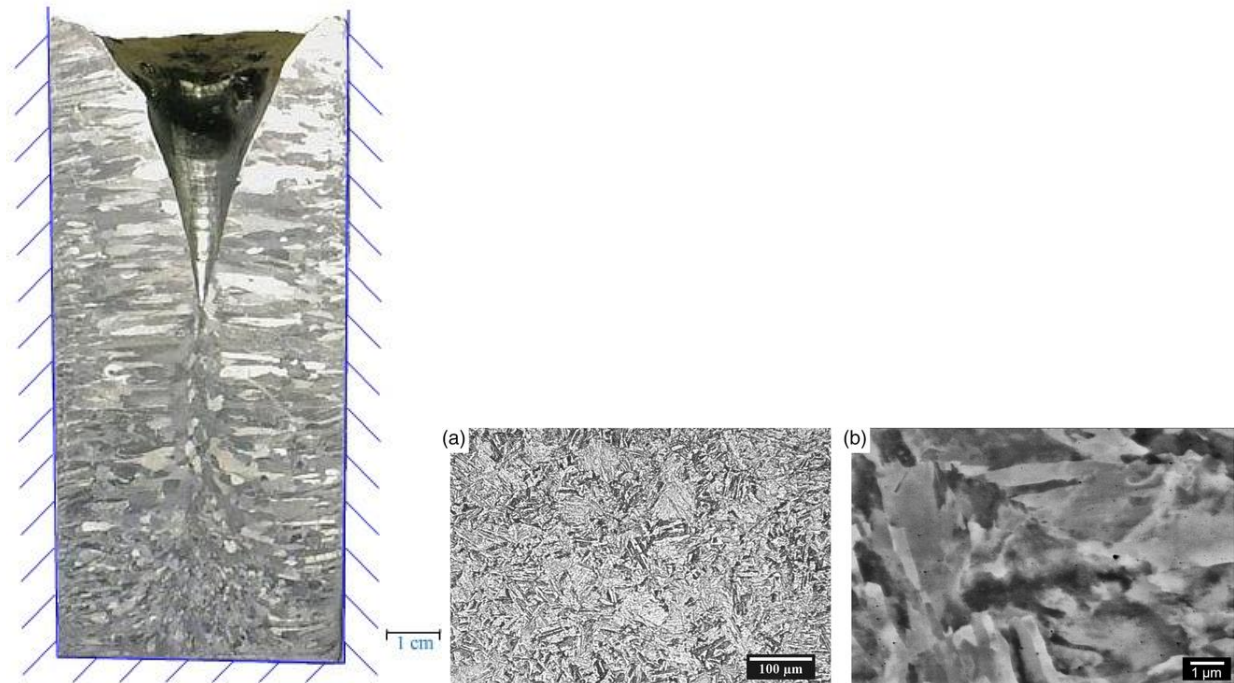
Gefügemechanismus:

- Sehr hohe Temperatur → erhöhte Diffusionsgeschwindigkeit
- Legierungselemente diffundieren über Korngrenzen und durch das Gitter
- Ergebnis: chemisch homogener Austenit, jedoch starkes Kornwachstum

Wichtig:

- Keine gezielte Verbesserung mechanischer Eigenschaften
- Zähigkeit und Festigkeit nehmen zunächst ab → Folgeprozesse zwingend notwendig

3) Gefüge vor & nach Diffusionsglühen



Vorher:

- ausgeprägte **Seigerungs**zonen,
- **bandartige** Gefüge, lokal unterschiedliche Härte/Umformbarkeit

Nachher:

- chemisch gleichmäßiges Gefüge,
- sehr grobes Austenitkorn (rein diffusionsbedingt, nicht eigenschaftsoptimiert)

4) Bei welchen Stählen / Werkstoffen?

- **hochlegierte Stähle** (Werkzeugstähle, Schnellarbeitsstähle, hochlegierte Cr-/Ni-Stähle)
- **großformatige Guss- und Schmiedestücke**
- Werkstoffe mit **starker Seigerungsneigung**
→ bei unlegierten/feinkörnigen Baustählen meist **nicht wirtschaftlich notwendig**

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel (vereinfacht):

1. Gießen / Erstarrung
2. **Diffusionsglühen** (chemische Homogenisierung)
3. Umformen (Walzen / Schmieden)
4. **Normalglühen oder Rekristallisationsglühen** (Kornverfeinerung!)
5. Zerspanung
6. Endwärmebehandlung (Vergüten, Härten, etc.)

→ Diffusionsglühen **steht immer vor** kornverfeinernden Schritten.

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- **Ja, zwingend — aber nicht Diffusionsglühen.**
- Nach Diffusionsglühen ist **immer** ein Folgeprozess erforderlich, z. B.:
 - **Normalglühen** → Kornverfeinerung
 - **Rekristallisationsglühen** nach Umformung
 - **Vergüten / Härten** für Endeneigenschaften
- Ein „ finales “ Diffusionsglühen wäre **technisch unsinnig**.

7) Ofentypen

- **Großkammeröfen / Haubenöfen / Herdwagenöfen**
- häufig **Schutzgas- oder leicht reduzierende Atmosphäre**
- **Vakuumofen** nur bei sehr hohen Oberflächenanforderungen (selten, teuer)

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur:

- sehr hoch: 1050—1250 °C
- nahe an der **Solidustemperatur**, aber mit Sicherheitsabstand

Haltezeit:

- **sehr lang**: typischerweise 10—50 h, bei Großblöcken auch länger
- stark abhängig von **Bauteildicke** und **Legierungsgehalt**

Abkühlung:

- **langsam im Ofen**, um neue Spannungen zu vermeiden

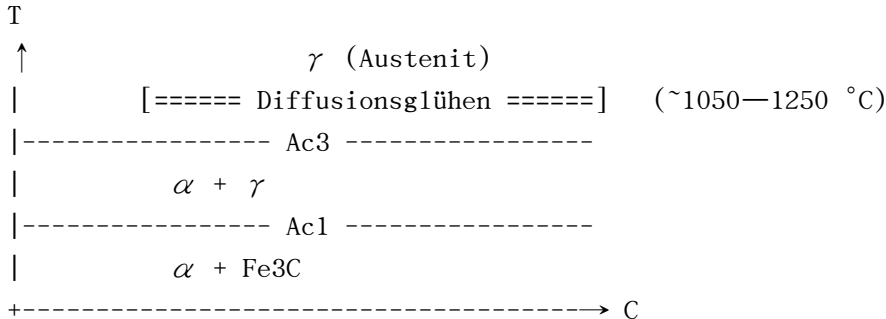
Atmosphäre:

- Schutzgas / leicht reduzierend → **Vermeidung von Oxidation & Entkohlung**

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- Diffusionsglühen liegt **tief im voll-austenitischen Bereich (γ)**,
- **deutlich über Ac3**, nahe der oberen Temperaturgrenze des Stahls.

Schematisch:



10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

5 / 5 (sehr hoch)

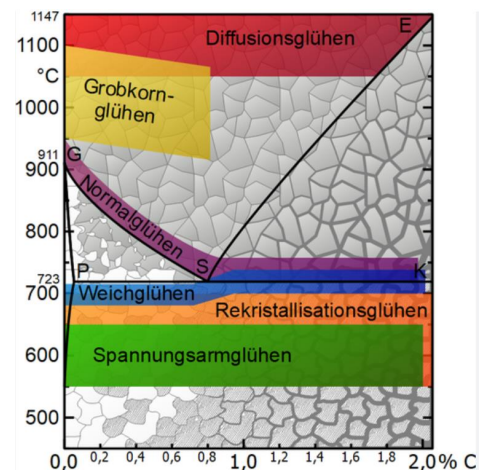
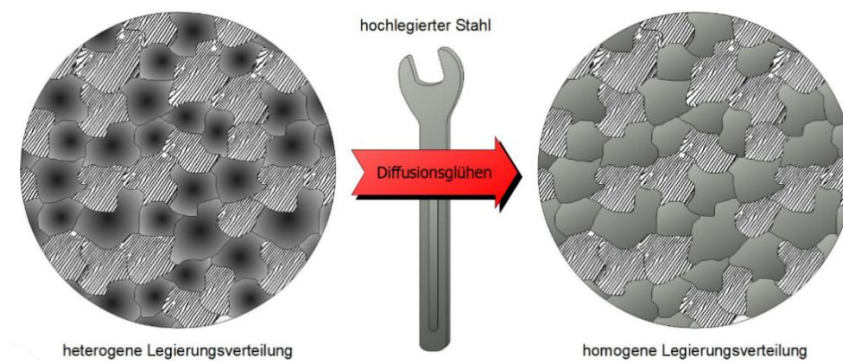
Begründung:

- höchste Temperaturen aller Glühverfahren
 - **extrem lange Haltezeiten**
 - große Öfen / hohe Energie- & Kapitalkosten
- nur wirtschaftlich sinnvoll bei **hochwertigen, massiven oder hochlegierten Halbzeugen**

Kurzfazit:

Diffusionsglühen ist kein eigenschaftsoptimierendes, sondern ein chemisch korrigierendes Glühverfahren.

Es dient ausschließlich der **Homogenisierung nach dem Gießen** und erfordert zwingend nachfolgende kornverfeinernde Wärme- und Umformprozesse.



Spannungsarmglühen

1) Wann wird Spannungsarmglühen angewendet?

- Sehr häufig fertigungsbegleitend oder nahe am Fertigteil, typischerweise
 - nach Schweißen,
 - nach spanender Bearbeitung (großer Materialabtrag),
 - nach Kaltumformung (Richten, Biegen),
 - nach Gießen (Abbau von Erstarrungseigenstressen).
- Kann mehrfach innerhalb der Prozesskette eingesetzt werden.

2) Ziele & Gefügeänderungen

Hauptziele:

- Abbau innerer Eigenstressen
- Verzug minimieren (sofort oder bei späterer Bearbeitung / Einsatz)
- Maß- und Formstabilität erhöhen

Was passiert im Werkstoff?

- Keine Phasenumwandlung, kein Austenit
- Versetzungsumlagerung und -abbau (Erholungsvorgänge)
- Spannungen relaxieren durch thermisch aktivierte Kriech- und Umordnungsmechanismen

Wichtig:

- Gefüge bleibt im Wesentlichen unverändert
- Festigkeit, Härte und Kornstruktur ändern sich nur minimal

3) Gefüge vor & nach Spannungsarmglühen

Vorher:

- hohes Niveau an Eigenstressen (z. B. Zug-/Druckspannungsfelder),
- Gefüge oft „verzerrt“ auf mikroskopischer Ebene

Nachher:

- gleiches Gefüge,
- aber deutlich reduzierte Spannungszustände

(Makroskopisch meist nicht sichtbar — Wirkung ist mechanisch, nicht strukturell.)

4) Bei welchen Stählen / Werkstoffen?

- Alle Stähle (unlegiert, legiert, hochlegiert)
- auch Gusseisen, Aluminium-, Titan- und Nickellegierungen
→ universellstes Glühverfahren

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel:

1. Rohteil (Guss / Schmiede / Walzprodukt)
2. Grobbearbeitung / Schweißen
3. **Spannungsarmglühen**
4. Feinbearbeitung
5. ggf. weiteres Spannungsarmglühen
6. Endwärmebehandlung (falls erforderlich)

→ häufig **zwischen Grob- und Feinbearbeitung**

6) Zusätzliches Glühen am fertigen Bauteil sinnvoll?

- Ja — sehr häufig genau hier sinnvoll.
- Spannungsarmglühen ist **das einzige Glühverfahren**, das gezielt **am Fertigteil** eingesetzt wird, ohne die mechanischen Eigenschaften wesentlich zu verändern.
- Besonders relevant für:
 - Präzisionsbauteile,
 - Mess-/Maschinenbauteile,
 - geschweißte Konstruktionen,
 - Form- und Werkzeugbau.

7) Ofentypen

- **Kammeröfen, Herdwagenöfen, Durchlauföfen**
- **Vakuumofen** möglich, aber meist **nicht notwendig**
- Atmosphäre:
 - Luft (bei unkritischer Oberfläche),
 - Schutzgas bei höheren Anforderungen

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur:

- 450—650 °C (typisch)
- immer **deutlich unter A_{c1}** → keine Umwandlung

Haltezeit:

- Faustregel: 1—2 h pro 25—50 mm Wanddicke
- in der Praxis oft 1—4 h

Abkühlung:

- **langsam im Ofen** bis ca. 200—300 °C,
- danach Luftabkühlung

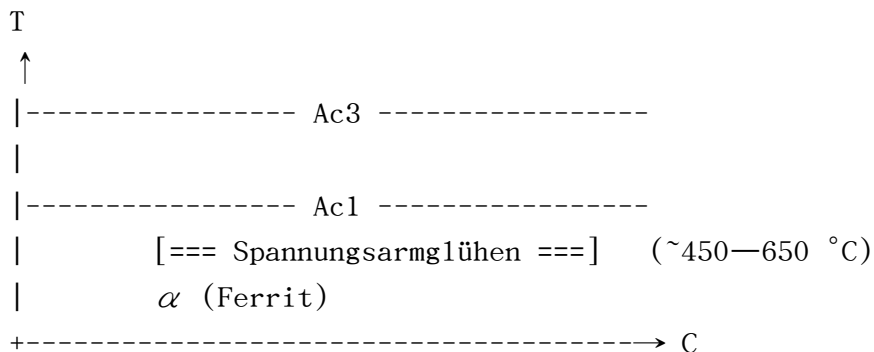
Atmosphäre:

- meist **Luft** ausreichend
- Schutzgas bei Oxidations- oder Farbänderungsanforderungen

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- deutlich unterhalb A_{c1} , vollständig im α -Gebiet

Schematisch:



10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

2 / 5 (niedrig bis moderat)

Begründung:

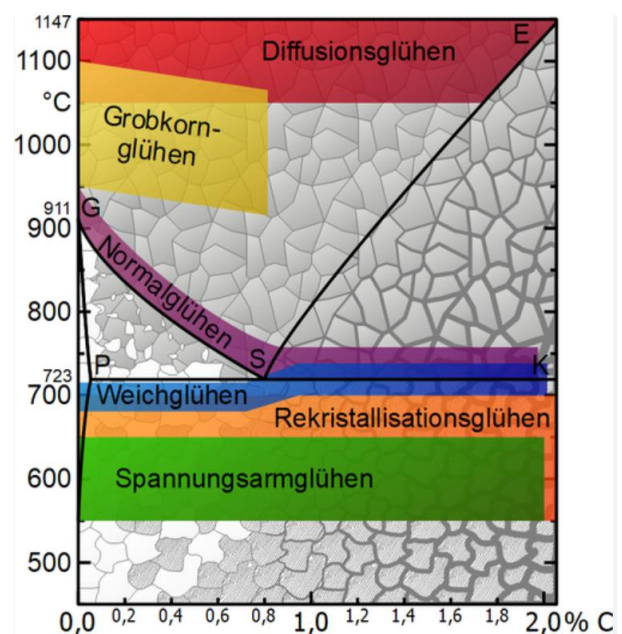
- vergleichsweise **niedrige Temperaturen**,
 - **kurze Haltezeiten**,
 - einfache Ofentechnik
- eines der **wirtschaftlichsten Glühverfahren**

Kurzfazit:

Spannungsarmglühen ist ein geometrie- und funktionssicherndes Glühverfahren.

Es verändert das Gefüge nicht grundlegend, reduziert jedoch zuverlässig

Eigenspannungen und ist daher ideal **nahe oder am Fertigteil** einsetzbar.



Rekristallisationsglühen

1) Wann wird Rekristallisationsglühen angewendet?

- Nach plastischer Verformung, insbesondere
 - Kaltumformung (Walzen, Ziehen, Tiefziehen, Biegen),
 - bei hohem Umformgrad (typ. > 5—10 % plastische Dehnung).
- Zwischenprozess in der Fertigung, **nicht** als Endzustand gedacht.

2) Ziele & realisierte Gefügeänderungen

Hauptziele:

- Beseitigung von Kaltverfestigung
- Wiederherstellung der Umformbarkeit (Duktilität)
- Abbau von Eigenspannungen (als Nebeneffekt)

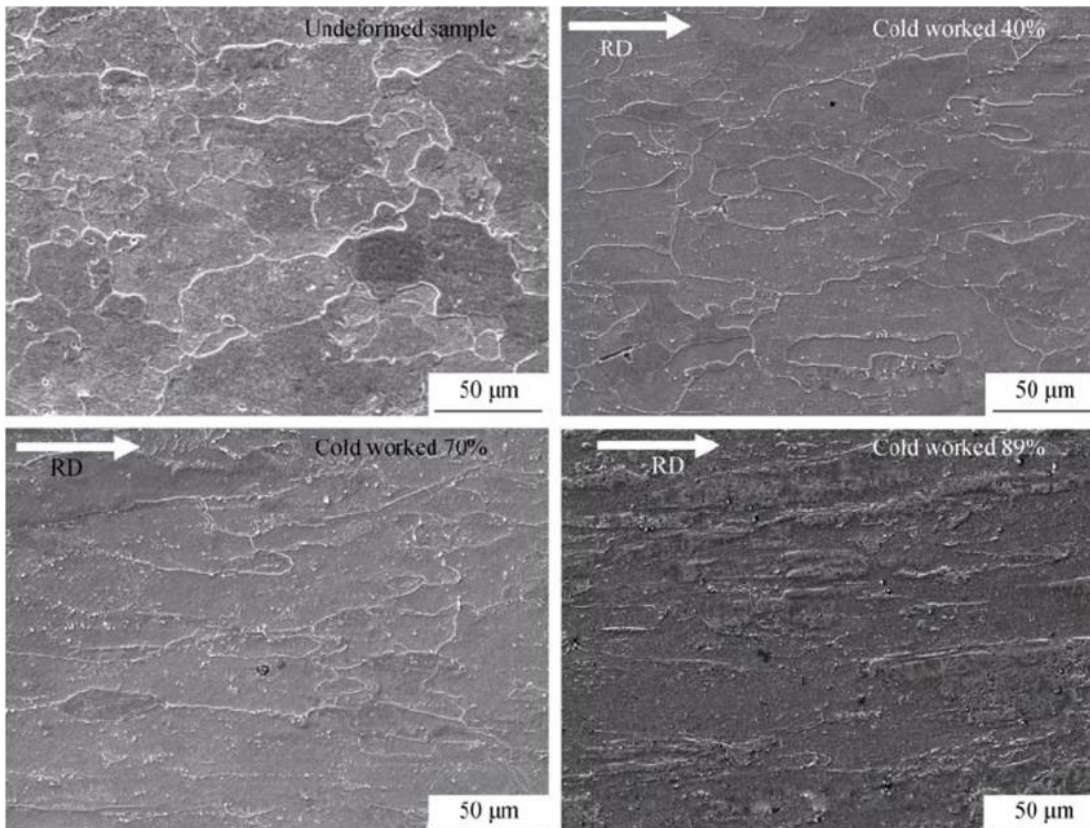
Gefügemechanismus (3 Stufen):

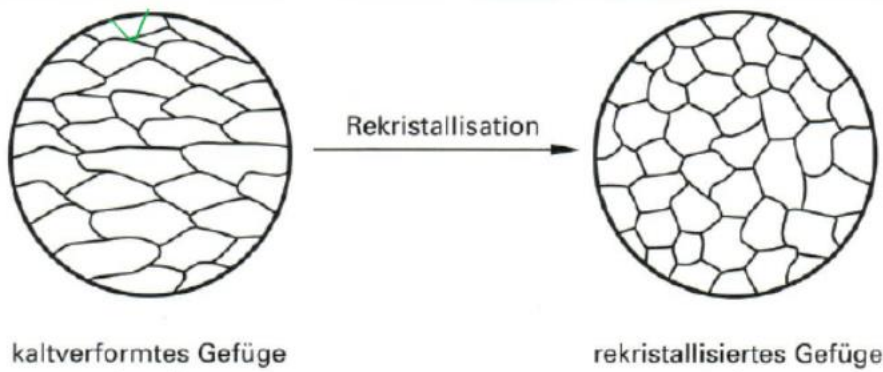
1. Erholung — Umlagerung von Versetzungen
2. Rekristallisation — Neubildung **spannungsfreier, feiner Körner**
3. ggf. Kornwachstum bei zu hoher Temperatur / zu langer Zeit

Ergebnis:

- neues, feinkörniges, äquiaxiales Gefüge
- Härte ↓, Festigkeit ↓, Dehnung ↑

3) Gefüge vor & nach Rekristallisationsglühen





Vorher (kaltverfestigt):

- verzogene, langgezogene Körner
- hohe Versetzungsdichte
- hohe Härte, geringe Duktilität

Nachher (rekristallisiert):

- feine, gleichachsige Körner
- geringe Versetzungsdichte
- gute Umformbarkeit

4) Bei welchen Stählen?

- **Unlegierte und niedriglegierte Stähle**
- besonders:
 - Tiefziehstähle
 - Kaltband / Kaltblech
 - Draht- und Rohrstähle
- **Voraussetzung:** vorherige **plastische Kaltverformung**

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel (Blech/Draht):

1. Warmumformung
2. Kaltumformung (Walzen/Ziehen)
3. **Rekristallisationsglühen**
4. weitere Kaltumformung (optional, zyklisch)
5. Endbearbeitung / Endwärmebehandlung

→ häufig **mehrfach zyklisch** eingesetzt.

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- **Ja**, wenn weitere Umformung erforderlich ist.
- **Nein**, wenn mechanische Endeigenschaften (z. B. hohe Festigkeit) gefordert sind.
- Rekristallisationsglühen ist **kein Endglühen**, sondern ein **prozessunterstützendes Glühen**.

7) Ofentypen

- **Durchlauföfen** (Band-/Rollenherdöfen)
- **Kammeröfen** bei Chargen
- Atmosphäre:
 - Luft (unkritisch)
 - Schutzgas bei Oberflächenanforderungen

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur:

- ca. 450—700 °C
- abhängig von:
 - Umformgrad
 - Legierungsgehalt
 - Korngröße im Ausgangszustand

Haltezeit:

- **Minuten bis < 1 h** (deutlich kürzer als Diffusions- oder Grobkornglühen)

Abkühlung:

- **Luftabkühlung ausreichend**

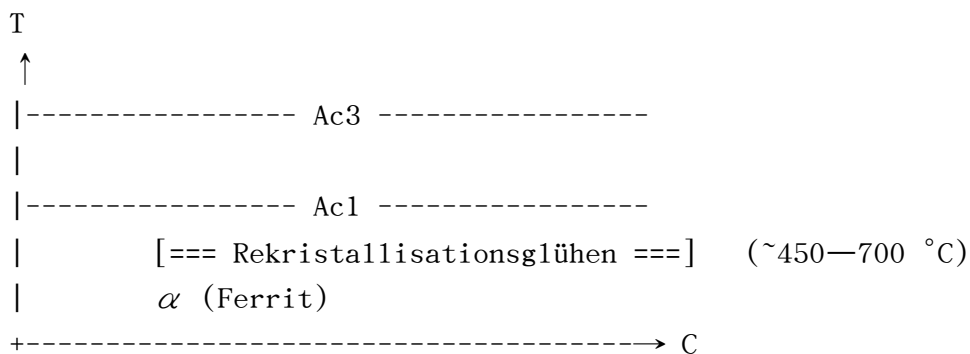
Atmosphäre:

- meist **Luft**, optional Schutzgas

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- **unterhalb Ac1**, vollständig im α -Gebiet
- höher als Spannungsarmglühen, aber **keine Phasenumwandlung**

Schematisch:



10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

2—3 / 5 (niedrig bis moderat)

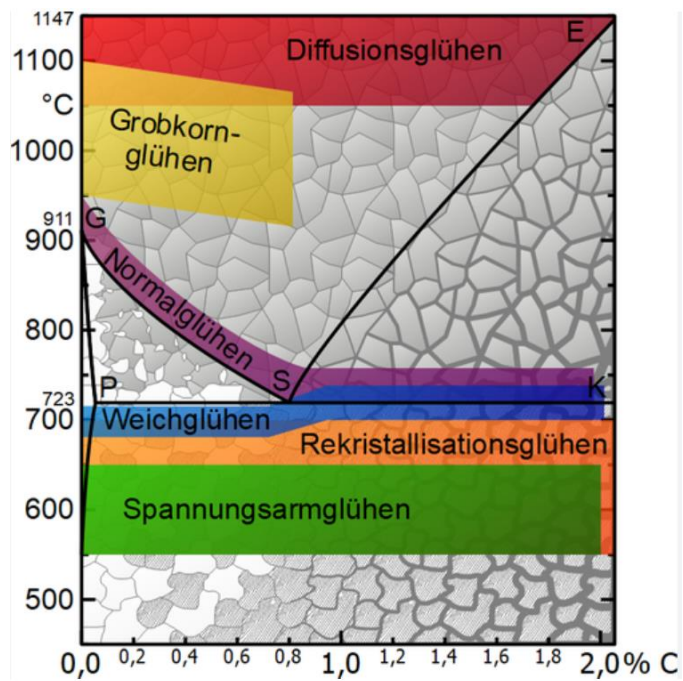
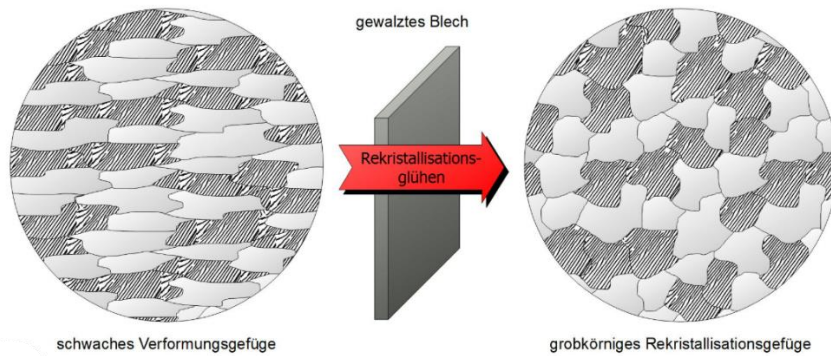
Begründung:

- mittlere Temperaturen
- kurze Haltezeiten
- sehr gut **kontinuierlich automatisierbar** (v. a. Band/Draht)

Kurzfazit:

Rekristallisationsglühen ist ein **umformtechnisch motiviertes Glühverfahren**.

Es hebt Kaltverfestigung auf, erzeugt ein **neues feinkörniges Gefüge** und stellt die **Duktilität** für weitere Umformschritte wieder her.



Perlitglühen

1) Wann wird Perlitglühen angewendet?

- Nach vollständiger Austenitisierung, wenn gezielt ein definiertes perlitisches Gefüge eingestellt werden soll
- Typisch:
 - an Halbzeugen oder vorbearbeiteten Werkstücken
 - vor Zerspanung oder moderater Umformung
- Nicht als klassisches Endglühen für Hochleistungsbauteile

2) Ziele & realisierte Gefügeänderungen

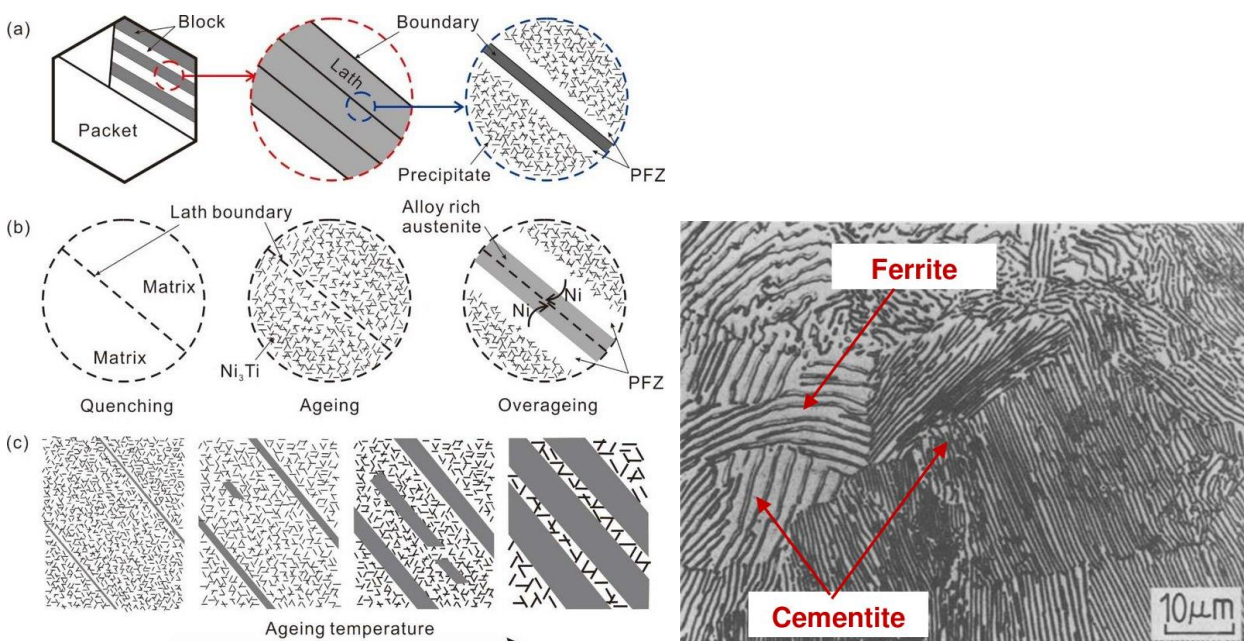
Hauptziele:

- Einstellung eines gleichmäßigen, gut zerspanbaren perlitischen Gefüges
- Reproduzierbare Härte/Festigkeit
- Vermeidung von:
 - Grobperlit (zu weich)
 - Bainit/Martensit (zu hart)

Gefügemechanismus:

- Austenit $\rightarrow$ diffusionsgesteuerte Umwandlung zu Ferrit + Zementit
- Lamellarer Aufbau (Perlitkolonien)
- Abkühlgeschwindigkeit bestimmt Lamellenabstand $\rightarrow$ Eigenschaften

3) Gefüge vor & nach Perlitglühen



Vorher:

- vollständig austenitisches Gefüge (γ)

Nachher:

- **Perlit:**
 - Ferrit + Zementit in **lamellarer Anordnung**
 - relativ gleichmäßige Kolonien

4) Bei welchen Stählen?

- **Eutektoide und untereutektoide Stähle**
- Typisch:
 - $C \approx 0,3-0,8 \%$
 - un- und niedriglegierte Stähle
- Besonders relevant bei:
 - Maschinenbaustählen
 - Vergütungsstählen im Vorzustand

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel:

1. Rohmaterial
2. Austenitisieren
3. **Perlitglühen (kontrollierte Abkühlung)**
4. Zerspanung / moderate Umformung
5. ggf. Endwärmebehandlung (Vergüten, Härten)

→ Perlitglühen ist **strukturdefinierend**, nicht eigenschaftsmaximierend.

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- **Ja, häufig erforderlich, denn:**
 - Perlit ist **kein Endzustand** für hohe Zähigkeit oder Festigkeit
- Typische Folgeprozesse:
 - **Vergüten**
 - **Normalglühen**
 - **Induktiv-/Randschichthärten**

7) Ofentypen

- **Kammeröfen**
- **Durchlauföfen**
- Atmosphäre:
 - Luft ausreichend
 - Schutzgas bei Oberflächenanforderungen

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur (Austenitisierung):

- ca. $30-80^\circ\text{C}$ über Ac_3 (untereutektoid)
- ca. $30-50^\circ\text{C}$ über Ac_1 (eutektoid)

Abkühlung:

- **kontrolliert langsam**
- typischerweise **Ofen- oder geregelte Luftabkühlung**
- Ziel: **Perlit**, kein Bainit

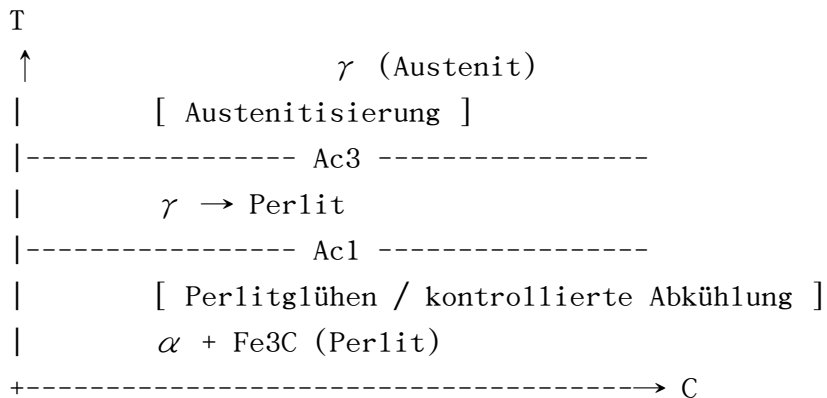
Haltezeit:

- kurz bis moderat (Gefügeausgleich, keine Diffusion über große Strecken)

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- Umwandlung erfolgt **zwischen Ac1 und Ar1**
- Austenitisierung **oberhalb Ac1/Ac3**
- Perlitbildung **beim langsamen Durchlaufen des Umwandlungsbereichs**

Schematisch:



10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

3 / 5 (moderat)

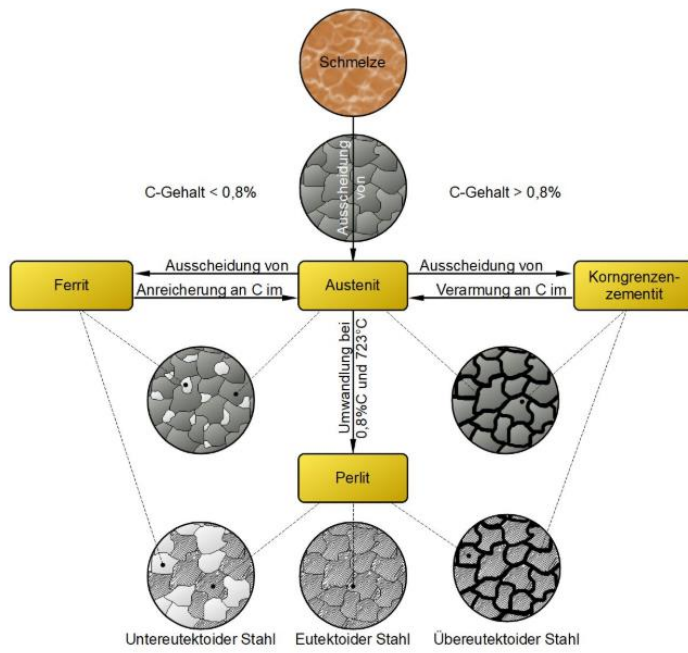
Begründung:

- Austenitisierung erforderlich
- kontrollierte Abkühlung (zeitrelevant)
- aber:
 - keine extremen Haltezeiten
 - keine Spezialatmosphäre zwingend

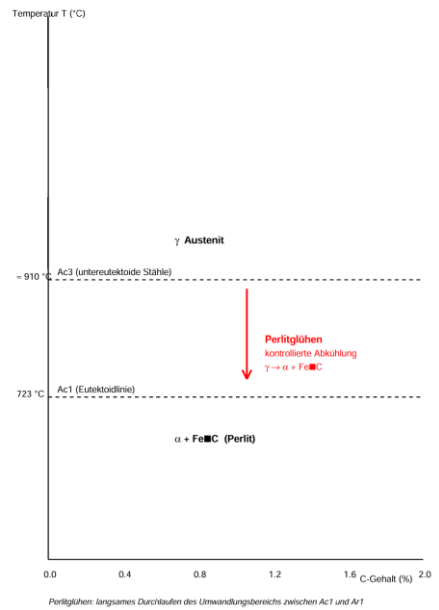
Kurzfazit:

Perlitglühen ist ein strukturdefinierendes Glühverfahren zur gezielten Einstellung eines perlitischen Gefüges.

Es liefert einen **gut zerspanbaren, reproduzierbaren Ausgangszustand**, ist jedoch **meist nicht der Endzustand** eines Bauteils.



Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (reduziert) – Perlitglühen



Weichglühen

1) Wann wird Weichglühen angewendet?

- Vor spanender Bearbeitung (Drehen, Fräsen, Bohren)
- Vor Kaltumformung, wenn hohe Duktilität erforderlich ist
- Zwischenprozess, nicht als Endzustand für hochbeanspruchte Bauteile

2) Ziele & realisierte Gefügeänderungen

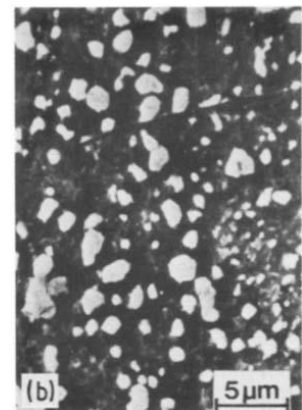
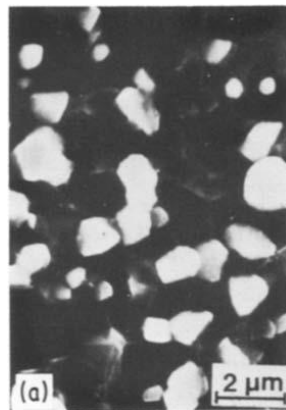
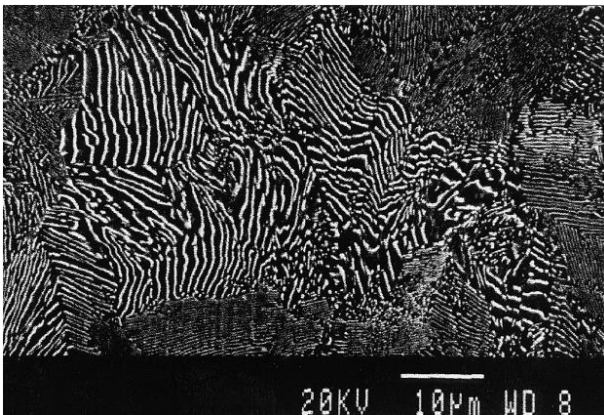
Hauptziele:

- Härtereduktion
- Verbesserung der Zerspanbarkeit
- Erhöhung der Umformbarkeit

Gefügemechanismus:

- Umwandlung von lamellarem Perlit zu kugeligen Zementitpartikeln (Sphäroidisierung)
- Ferritmatrix mit kugelig ausgeschiedenem Fe_3C
- Ergebnis: minimale Härte, maximale Duktilität

3) Gefüge vor & nach Weichglühen



Vorher:

- lamellarer Perlit
- relativ hohe Härte
- schlechte Zerspanbarkeit

Nachher:

- sphäroidisierter Zementit
- sehr gute Zerspanbarkeit
- geringe Festigkeit

4) Bei welchen Stählen?

- Mittel- bis hochkohlenstoffhaltige Stähle
 - typ. C > 0,4 %

- Besonders:
 - Werkzeugstähle
 - Wälzlagerstähle
 - hochkohlenstoffhaltige Vergütungsstähle

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel:

1. Warmumformung / Guss
2. Normalglühen oder Perlitglühen
3. **Weichglühen**
4. Spanende Bearbeitung / Kaltumformung
5. Endwärmebehandlung (Härten, Vergüten)

→ Weichglühen ist **bearbeitungsorientiert**, nicht funktionsorientiert.

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- **Nein**, Weichglühen ist **kein Endzustand**
- Nach Weichglühen ist **zwingend** eine Endwärmebehandlung notwendig, z. B.:
 - Härten
 - Vergüten
 - Einsatzhärten

7) Ofentypen

- **Kammeröfen**
- **Haubenöfen**
- Atmosphäre:
 - Luft (meist ausreichend)
 - Schutzgas bei Oxidations- oder Entkohlungsrisiko

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur:

- **knapp unter Acl**
- typ. 650—720 °C

Haltezeit:

- **lang** (mehrere Stunden bis >10 h)
- stark abhängig von:
 - C-Gehalt
 - Vorstruktur
 - Bauteildicke

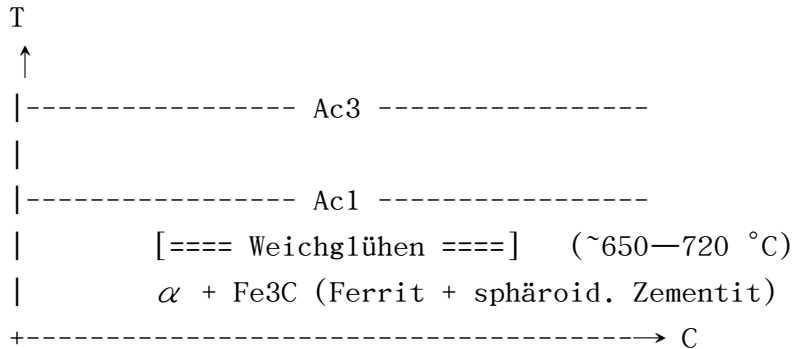
Abkühlung:

- **sehr langsam im Ofen**

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- unterhalb A_{c1}
- vollständig im $\alpha + Fe_3C$ -Gebiet

Schematisch:



10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

3—4 / 5 (moderat bis erhöht)

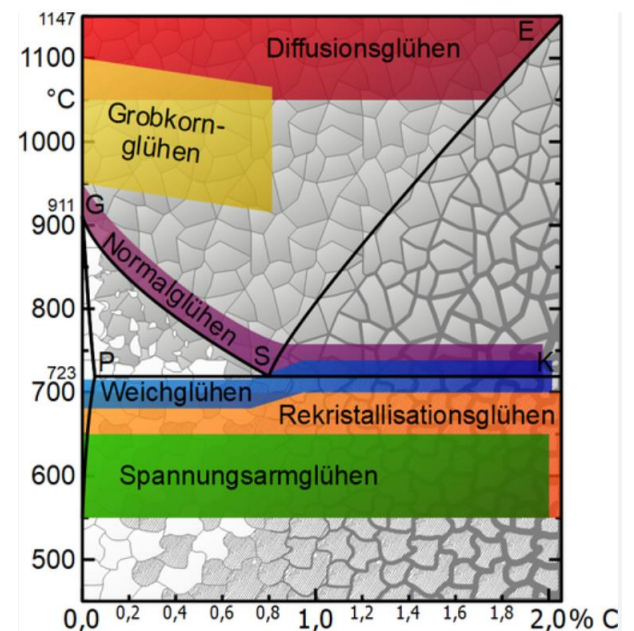
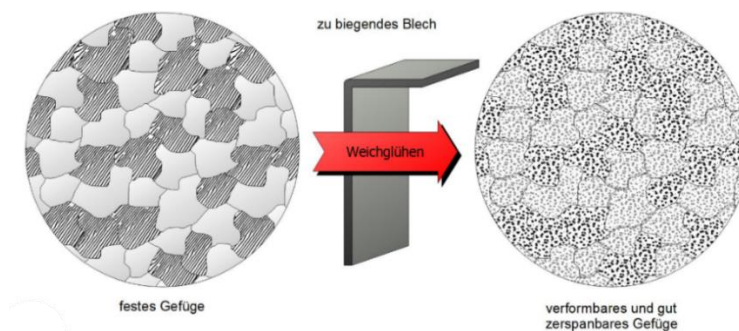
Begründung:

- niedrige Temperatur
- aber **sehr lange** Haltezeiten
- hohe Ofenbelegung

Kurzfazit:

Weichglühen ist ein bearbeitungsoptimierendes Glühverfahren.

Es minimiert Härte durch **Sphäroidisierung des Zementits** und verbessert Zerspan- und Umformeigenschaften deutlich, erfordert jedoch stets eine **nachfolgende Endwärmebehandlung**.



Ferritisierungsglügen

1) Wann wird Ferritisierungsglügen angewendet?

- Nach Gießen, Schmieden oder Warmumformung, wenn ein **vollständig ferritisches Gefüge** angestrebt wird
- Vor Zerspanung oder Kaltumformung, insbesondere bei:
 - schwer zerspanbaren Ausgangsgefügen (Perlit/Bainit)
- Zwischenprozess, kein Endzustand für hochbeanspruchte Bauteile

2) Ziele & realisierte Gefügeänderungen

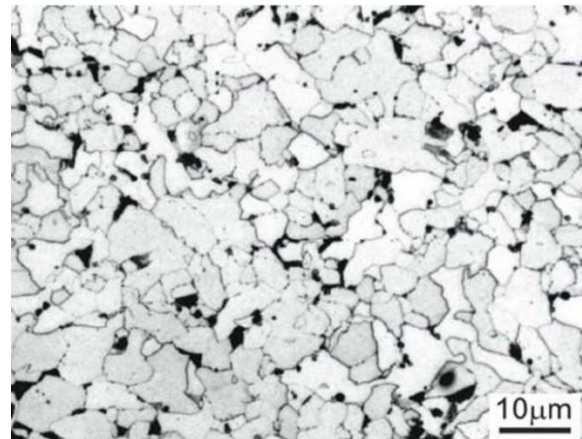
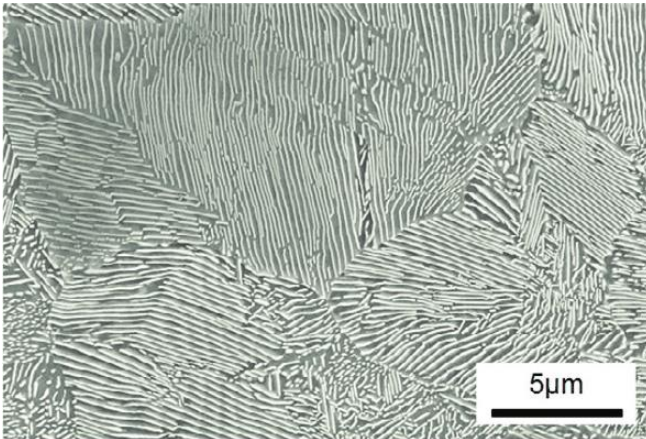
Hauptziele:

- Umwandlung perlitischer/karbidischer Gefügebestandteile zu Ferrit
- Maximale Weichheit und Duktilität
- Verbesserte Zerspanbarkeit

Gefügemechanismus:

- Glühen **knapp unterhalb A_{c1}**
- Zementit (Fe_3C) zerfällt bzw. wird aufgelöst
- Kohlenstoff diffundiert und scheidet ggf. sehr fein oder an der Oberfläche aus
- Ergebnis: **nahezu reiner Ferrit** (evtl. mit sehr feinen Karbidresten)

3) Gefüge vor & nach Ferritisierungsglügen



Vorher:

- Ferrit-Perlit-Gefüge
- höhere Härte, geringere Duktilität

Nachher:

- **überwiegend ferritisches Gefüge**
- sehr geringe Härte
- sehr gute Umform- und Zerspanbarkeit

4) Bei welchen Stählen?

- **Niedrig- bis mittelgekohlte Stähle**
 - typ. C $\leq$ 0,3 %
- besonders:
 - Automaten- und Tiefziehstähle
 - Baustähle mit Fokus auf Umformbarkeit
- **nicht geeignet** für hochkohlenstoffhaltige Stähle

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel:

1. Gießen / Warmumformung
2. Normalglühen (optional)
3. **Ferritisierungsglühen**
4. Zerspanung oder Kaltumformung
5. Endwärmebehandlung (falls erforderlich)

→ Ferritisierungsglühen dient der **Prozessoptimierung**, nicht der Endfunktion.

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- **Nein**, da:
 - ferritisches Gefüge → **sehr geringe Festigkeit**
- Nachfolgende Wärmebehandlung (z. B. Vergüten) **zwingend erforderlich**, falls mechanische Eigenschaften gefordert sind.

7) Ofentypen

- **Kammeröfen**
- **Haubenöfen**
- Atmosphäre:
 - Luft (bei unkritischen Anforderungen)
 - Schutzgas, wenn **Entkohlung kontrolliert** werden muss

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur:

- 600—700 °C, unterhalb Acl

Haltezeit:

- **lang** (mehrere Stunden)
- abhängig von:
 - C-Gehalt
 - Bauteildicke
 - gewünschtem Ferritisierungsgrad

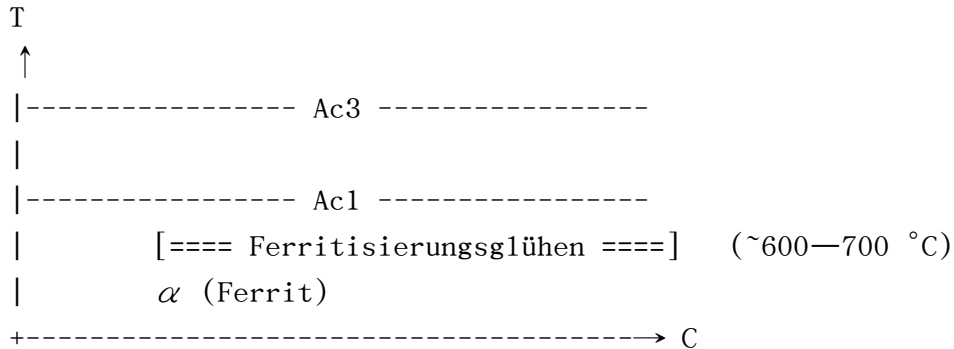
Abkühlung:

- **langsam im Ofen**

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- vollständig unterhalb A_{c1}
- im α -Gebiet (Ferrit)

Schematisch:



10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

3 / 5 (moderat)

Begründung:

- niedrige Temperatur
- aber **lange Haltezeiten**
- mittlere Ofenbelegung

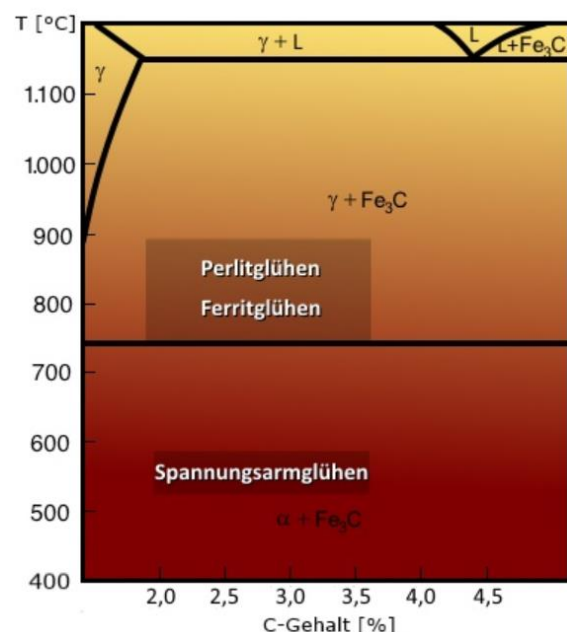
Kurzfazit:

Ferritisierungsglügen ist ein weichmachendes, prozessunterstützendes Glühverfahren.

Es wandelt perlitische Gefügebestandteile weitgehend in **Ferrit** um und verbessert dadurch **Zerspan- und Umformeigenschaften**, ist jedoch **kein Endzustand** für funktionsbeanspruchte Bauteile.



Ferritisieren kommt hauptsächlich bei Gusseisenwerkstücken zum Einsatz, um ein weiches, ferritisches Gefüge einzustellen, was z.B. für die weitere Bearbeitung gewünscht sein kann.



Normalglühen

1) Wann wird Normalglühen angewendet?

- Nach Gießen, Schmieden oder Warmumformung
- Vor Zerspanung oder vor nachfolgenden Wärmebehandlungen
- Als Referenz- und Ausgangszustand, um ein definiertes, feinkörniges Gefüge einzustellen
- Nicht primär als Endbehandlung für hochbeanspruchte Bauteile

2) Ziele & realisierte Gefügeänderungen

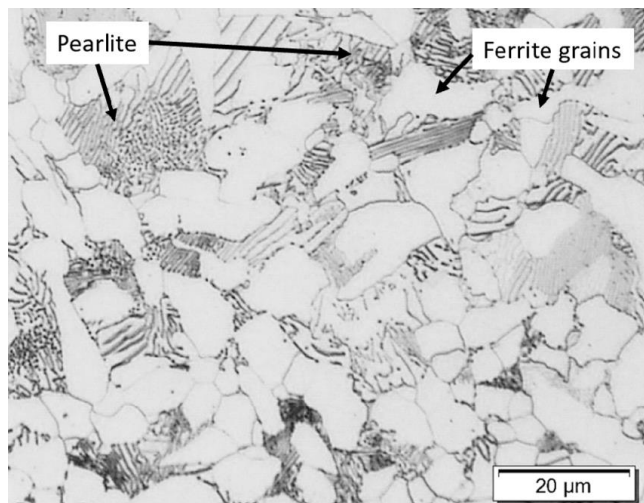
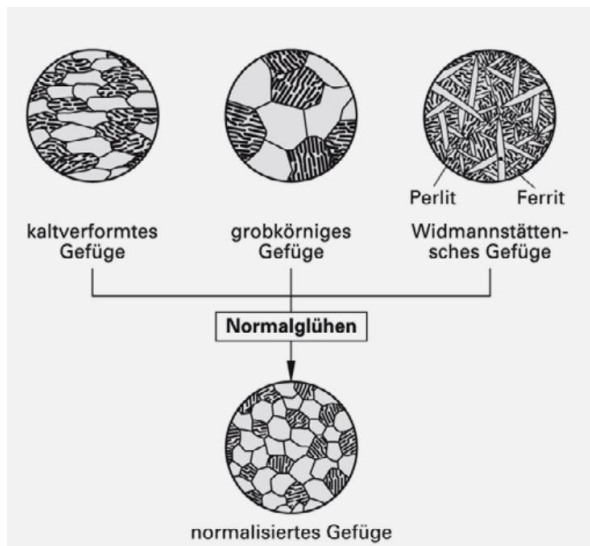
Hauptziele:

- Kornverfeinerung
- Homogenisierung des Gefüges
- Beseitigung von Grobkorn, Bänderung und Guss-/Schmiedegefügen
- Reproduzierbare mechanische Eigenschaften

Gefügemechanismus:

- Vollständige Austenitisierung
- Luftabkühlung → feiner Ferrit + Perlit
- Höhere Abkühlgeschwindigkeit als beim Weich-/Perlitglühen → **feiner Perlit**

3) Gefüge vor & nach Normalglühen



Vorher:

- grobkörniges Guss- oder Schmiedegefüge
- inhomogen, bandartig

Nachher:

- feines, gleichmäßiges Ferrit-Perlit-Gefüge
- verbesserte Zähigkeit und Gleichmäßigkeit

4) Bei welchen Stählen?

- Un- und niedriglegierte Stähle
- typisch:
 - Baustähle
 - Maschinenbaustähle
 - Vergütungsstähle (als Vorzustand)
- eingeschränkt sinnvoll bei **hochlegierten Stählen** (diffusionsbedingt)

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel:

1. Gießen / Schmieden / Warmwalzen
2. **Normalglühen**
3. Zerspanung
4. Endwärmebehandlung (Vergüten, Härten, Einsatzhärten)

→ Normalglühen ist ein **strukturdefinierender Referenzschritt**.

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- **Meist nein**, da:
 - Normalglühen **Festigkeit und Härte moderat erhöht**
 - Endzustände oft gezielter eingestellt werden (Vergüten etc.)
- **Ja**, wenn:
 - Gefügevereinheitlichung wichtiger ist als maximale Festigkeit

7) Ofentypen

- **Kammeröfen**
- **Durchlauföfen**
- Atmosphäre:
 - Luft (Standard)
 - Schutzgas bei Oberflächenanforderungen

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur:

- 30—80 °C über Ac3 (untereutektoide Stähle)
- 30—50 °C über Ac1 (eutektoide Stähle)

Haltezeit:

- kurz bis moderat
- ausreichend zur vollständigen Austenitisierung

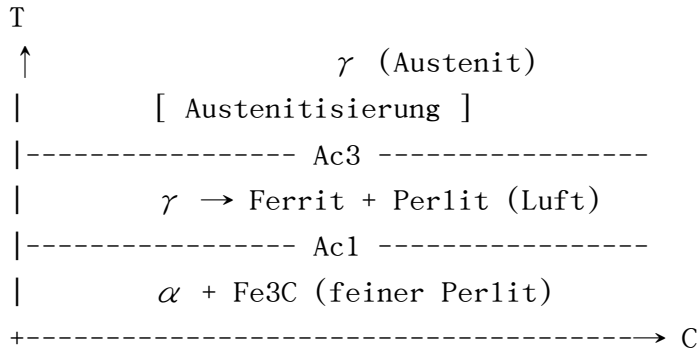
Abkühlung:

- **ruhende Luft** (definierend für „Normal“-Gefüge)

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- Austenitisierung oberhalb A_{c1}/A_{c3}
- Umwandlung bei Luftabkühlung im Bereich $A_{c1} \rightarrow A_{r1}$

Schematisch:



10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

2—3 / 5 (niedrig bis moderat)

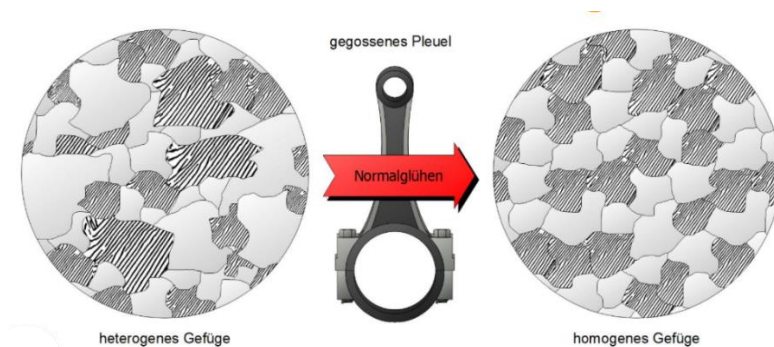
Begründung:

- mittlere Temperaturen
- kurze Haltezeiten
- einfache Abkühlung (Luft)

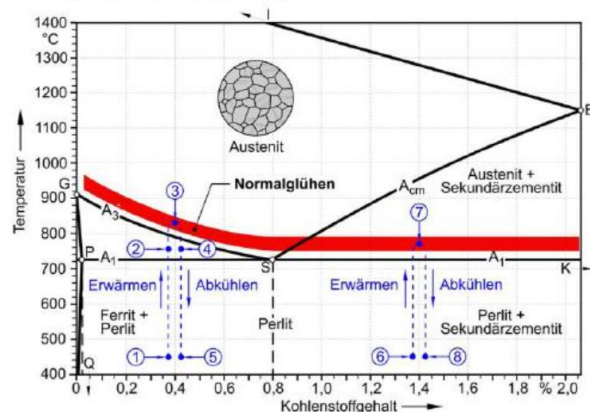
Kurzfazit:

Normalglühen ist das Referenz-Glühverfahren zur Einstellung eines feinkörnigen, homogenen Ferrit-Perlit-Gefüges.

Es beseitigt grobe Vorstrukturen und schafft einen definierten Ausgangszustand für Zerspanung und nachfolgende Wärmebehandlungen.



Durchführung einer Normalglühung



Lösungsglühen

1) Wann wird Lösungsglühen angewendet?

- Nach Gießen, Schmieden oder Warmumformung
- Vor dem Abschrecken bzw. vor einer gezielten Ausscheidungshärtung
- Typisch:
 - austenitische Stähle
 - austenitisch-ferritische (Duplex-)Stähle
 - ausscheidungshärtbare Legierungen (z. B. Al-, Ni-, PH-Stähle)
- **Nicht** als letzter Zustand ohne Folgeschritt (Ausnahme: austenitische CrNi-Stähle)

2) Ziele & realisierte Gefügeänderungen

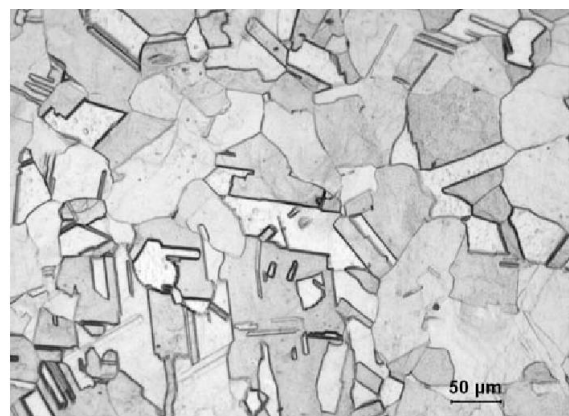
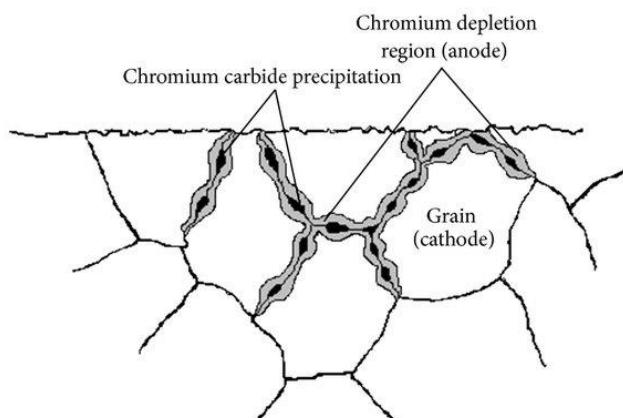
Hauptziele:

- Auflösen von Ausscheidungen (Carbide, Intermetallische Phasen)
- Chemische Homogenisierung des Mischkristalls
- Wiederherstellung der Korrosionsbeständigkeit
- Vorbereitung für:
 - Abschrecken
 - Ausscheidungshärtung

Gefügemechanismus:

- Erhitzen auf hohe Temperatur → **Ausscheidungen gehen vollständig in Lösung**
- Bildung eines **übersättigten Mischkristalls**
- Schnelles Abkühlen verhindert Neubildung von Ausscheidungen

3) Gefüge vor & nach Lösungsglühen



Vorher:

- Korngrenzen-Carbide (z. B. $\text{Cr}_{323}\text{C}_6$ bei CrNi-Stählen)
- Inhomogene Elementverteilung
- reduzierte Korrosionsbeständigkeit

Nachher:

- einphasiger, homogener Mischkristall
- keine schädlichen Ausscheidungen
- maximale Korrosionsbeständigkeit

4) Bei welchen Stählen / Werkstoffen?

- Austenitische CrNi-Stähle (z. B. 1.4301, 1.4404)
- Duplexstähle
- Ausscheidungshärtbare Stähle (PH-Stähle)
- auch:
 - Aluminiumlegierungen
 - Nickelbasislegierungen

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel (austenitischer Stahl):

1. Warmumformung / Schweißen
2. Lösungsglühen
3. Schnelles Abschrecken (Wasser/Luft)
4. Einsatz des Bauteils

Beispiel (PH-Stahl / Al-Legierung):

1. Lösungsglühen
2. Abschrecken
3. Ausscheidungshärten (Altern)

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- Ja, bei:
 - austenitischen Stählen → Lösungsglühen kann **Endzustand** sein
- Nein, wenn:
 - anschließende **Ausscheidungshärtung** erforderlich ist (dann nur Vorstufe)

7) Ofentypen

- Kammeröfen
- Durchlauföfen
- Vakuumöfen (hochwertige Oberflächen)
- Atmosphäre:
 - Schutzgas
 - Vakuum
 - selten Luft (Oxidationsrisiko!)

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur:

- austenitische CrNi-Stähle: 1000—1100 °C
- Duplexstähle: ~1020—1080 °C
- Al-Legierungen: ~480—550 °C (werkstoffabhängig)

Haltezeit:

- kurz bis moderat
- ausreichend zum vollständigen Lösen der Ausscheidungen

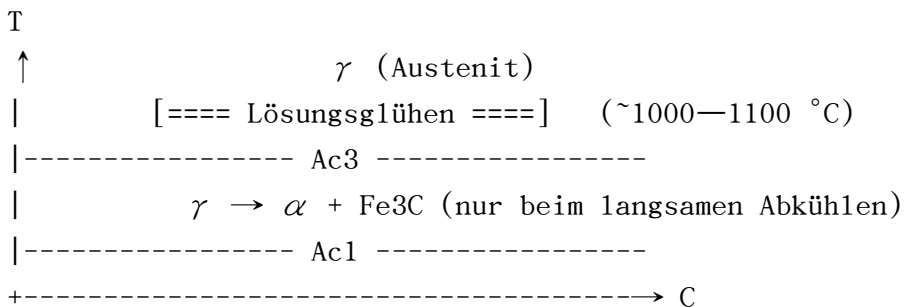
Abkühlung:

- **schnell:**
 - Wasserabschrecken
 - Luft (bei dünnen Querschnitten)

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- tief im γ -Gebiet (Austenit)
- deutlich oberhalb Ac3
- keine Umwandlung während Halten, nur **Lösungsvorgänge**

Schematisch:



(Beim Lösungsglühen wird durch schnelles Abkühlen genau diese Umwandlung unterdrückt.)

10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

4 / 5 (hoch)

Begründung:

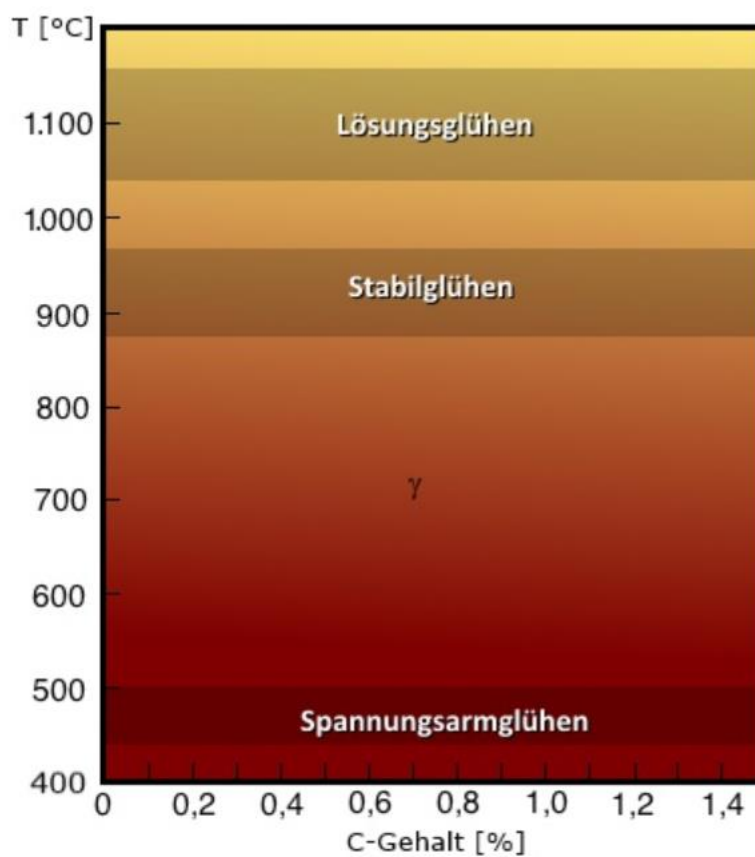
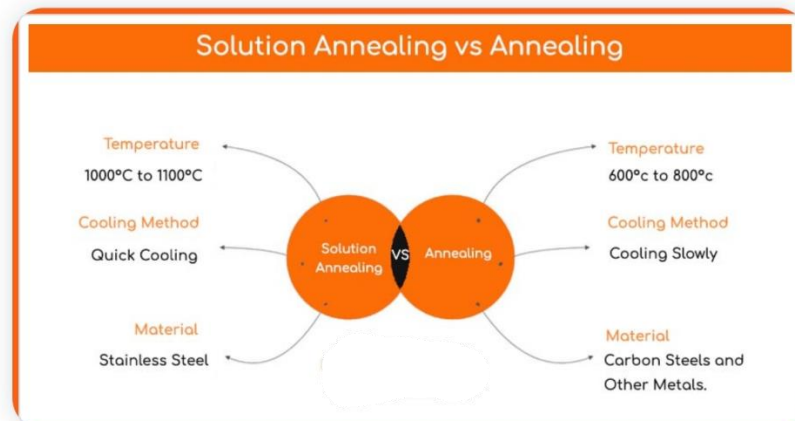
- hohe Temperaturen
- kontrollierte Atmosphäre / Vakuum
- zusätzlicher Abschreckschritt
→ kostenintensiver als Normal-, Weich- oder Spannungsarmglühen

Kurzfazit:

Lösungsglühen ist ein chemisch-funktionales Glühverfahren.

Es löst schädliche Ausscheidungen, erzeugt einen **homogenen Mischkristall** und ist entweder **Endzustand (austenitische Stähle)** oder **Vorstufe zur Ausscheidungshärtung**.

Lösungsglühen vs. Glühen



Patentieren

1) Wann wird Patentieren angewendet?

- Vor allem in der Draht- und Feinwalzindustrie
- Nach Warmwalzen / Grobziehen, vor intensivem Kaltziehen
- Zwischenprozess, der gezielt einen optimalen Ausgangszustand für extreme Kaltumformgrade schafft

2) Ziele & realisierte Gefügeänderungen

Hauptziele:

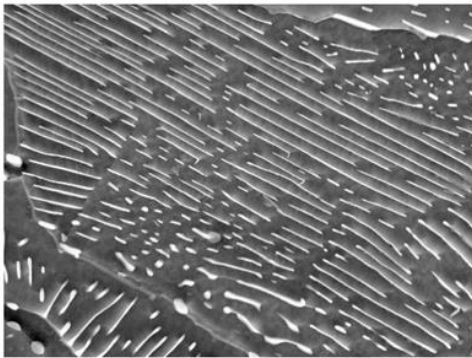
- Einstellung eines sehr feinen, homogenen Perlitgefüges
- Maximale Kaltumformbarkeit bei hoher Festigkeit
- Reproduzierbare mechanische Eigenschaften über große Längen

Gefügemechanismus:

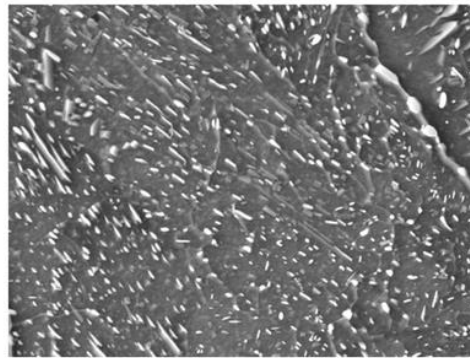
- Austenitisierung →
- isotherme Umwandlung bei definierter Temperatur (Salzbad / Fluidbett)
→
- Bildung von feinstlamellarem Perlit (kleiner Lamellenabstand!)

→ feiner als bei Normal- oder Perlitglühen

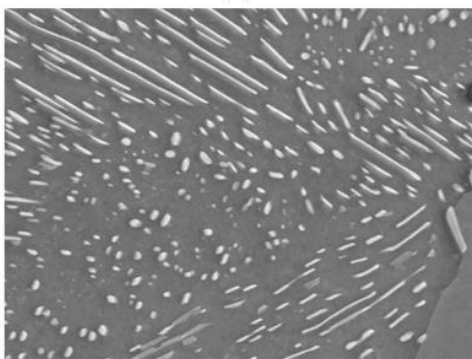
3) Gefüge vor & nach Patentieren



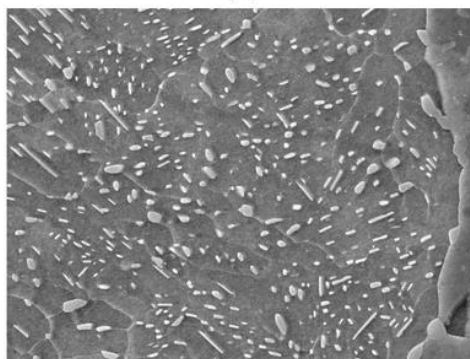
(a)



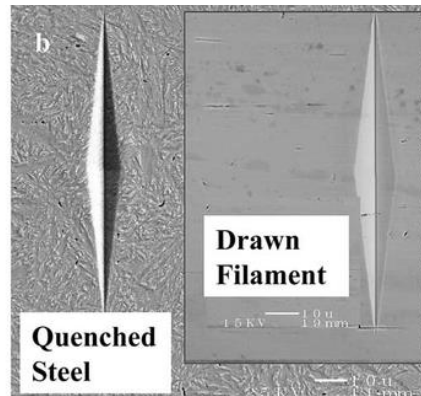
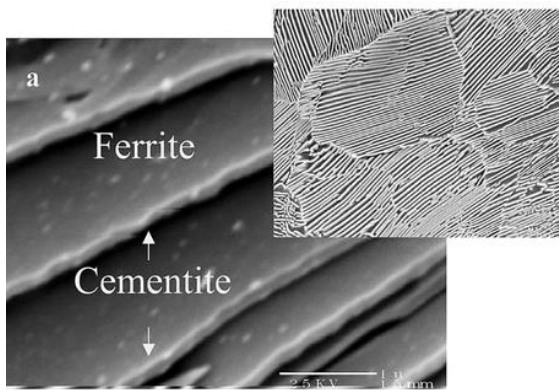
(d)



(b)



(e)



Vorher:

- grober Perlit / inhomogenes Warmwalzgefüge
- begrenzte Kaltumformbarkeit

Nachher:

- **sehr feiner, gleichmäßiger Perlit**
- ideale Voraussetzung für hohe Ziehgrade

4) Bei welchen Stählen?

- **Mittel- bis hochkohlenstoffhaltige Stähle**
 - typ. 0,4—1,0 % C
- **besonders:**
 - Federstähle
 - Seil- und Litzenstähle
 - Klavierdraht
 - Spannstähle (z. B. für Beton)

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel (Draht):

1. Warmwalzen
2. **Patentieren**
3. Kaltziehen (oft mehrfach)
4. ggf. Zwischen-Patentieren
5. Endzustand / Endbeschichtung

→ Patentieren ist **integraler Bestandteil** der Umformkette.

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- **Nein**, Patentieren ist **kein Endglühverfahren**
- Nach dem letzten Ziehschritt ggf.:
 - **Spannungsarmglühen** (bei Maß-/Formstabilität)
 - **Anlassen** (bei spezifischen Festigkeits-/Zähigkeitsanforderungen)

7) Ofentypen / Anlagen

- **Durchlaufanlagen** mit:
 - Austenitisierungszone

- anschließend **Salzbad**, **Bleibad** (historisch) oder **Fluidbett**
- Heute bevorzugt:
 - **Salz- oder Gas-Fluidbettverfahren** (Umwelt & Regelbarkeit)

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Austenitisierung:

- ca. 900—1050 °C

Isotherme Umwandlung (Patentiertemperatur):

- ca. 450—550 °C

Haltezeit:

- **sehr kurz** (Sekunden bis Minuten, kontinuierlicher Prozess)

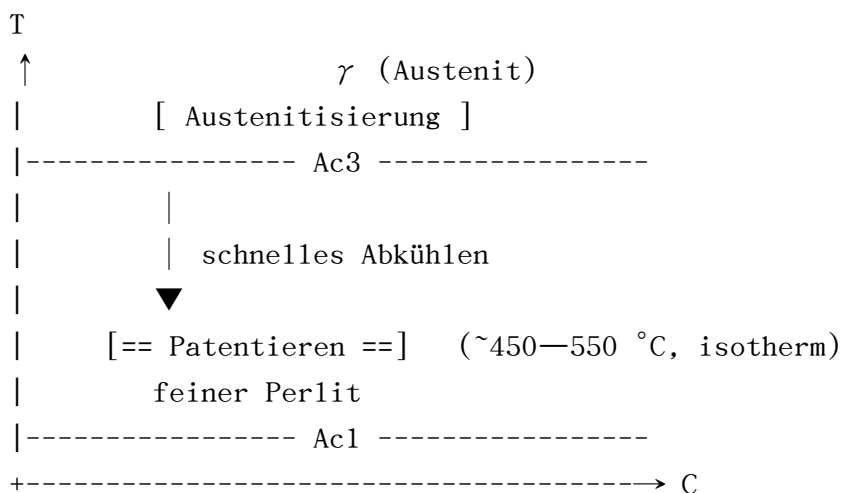
Abkühlung:

- nach isothermer Stufe → Luft

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- Start: oberhalb Ac_1/Ac_3 (γ -Gebiet)
- Schnelles Abkühlen auf **Perlitbildungs-Temperatur**
- **Isotherme Umwandlung** zu feinem Perlit

Schematisch:



10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

4 / 5 (hoch)

Begründung:

- kontinuierliche Spezialanlagen
 - exakte Temperaturführung
 - hoher Energie- und Investitionsbedarf
- wirtschaftlich nur bei **Großserien** (Draht/Litze)

Kurzfazit:

Patentieren ist ein spezialisiertes Wärmebehandlungsverfahren zur Erzeugung von extrem feinem Perlit.

Es ermöglicht sehr hohe Kaltumformgrade bei gleichzeitig hoher Festigkeit und ist damit unverzichtbar für hochfeste Drähte und Litzen.

Merkmal	Vorher (Walzzustand)	Nachher (Patentiert)
Gefügetyp	Grober Perlit	Sorbit (Feinstperlit)
Lamellenabstand	Breit, gut sichtbar	Extrem fein, kaum auflösbar
Mechanik	Geringere Festigkeit, spröder	Hohe Festigkeit + hohe Duktilität
Zweck	Rohmaterial	Optimaler Zustand zum Drahtziehen

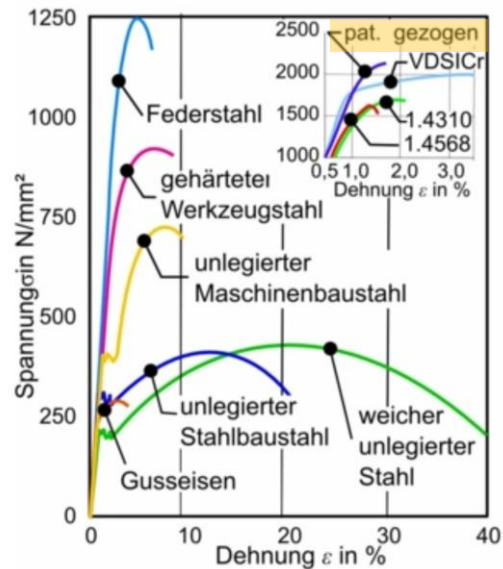
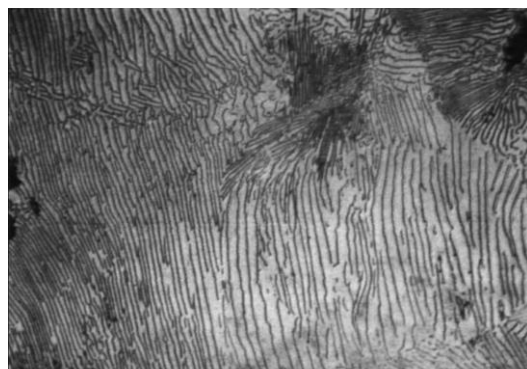


Abb. 2: Exemplarische Zugversuchskennlinien an verschiedenen Stahlsorten und verschiedenen Federstahldrähten. © VDFI



Perlit Lamellenabstand über 1,6µm = MPG 5

500:1



Kohlenstoffstahl mit Sorbitischem Gefüge 500x

Zähglühen

1) Wann wird Zähglühen angewendet?

- Nach einer härtenden oder gefügeverschlechternden Vorbehandlung, z. B.:
 - nach Härten (ohne vollständiges Vergüten),
 - nach Grobkornglühen,
 - nach Schweißen oder starker Warmumformung,
- wenn Zähigkeit wichtiger ist als maximale Härte/Festigkeit.
- Kann nahe am Fertigteil liegen, jedoch meist vor der Endabnahme.

2) Ziele & realisierte Gefügeänderungen

Hauptziele:

- Erhöhung der Zähigkeit
- Reduktion von Sprödigkeit
- Abbau von Härtespitzen und Kerbempfindlichkeit

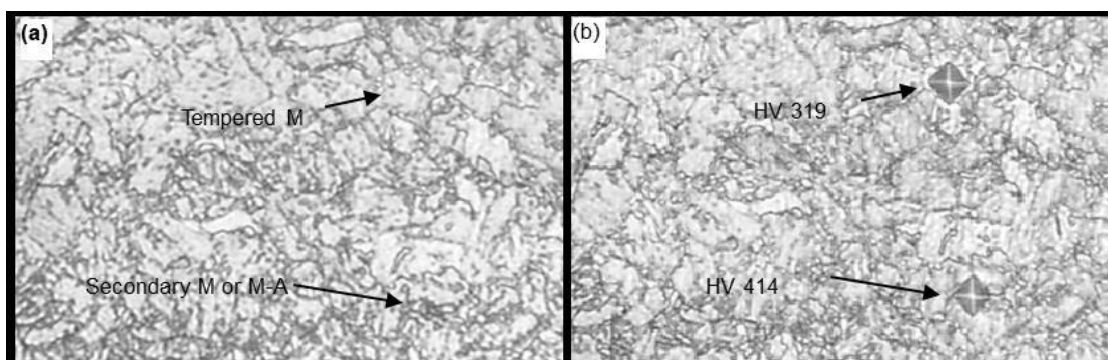
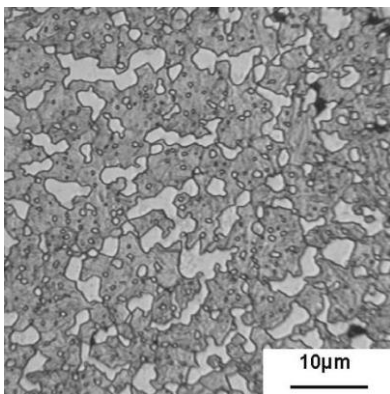
Gefügemechanismus:

- Glühen im unterkritischen Bereich (unter A_{c1})
- Ausscheidungen runden sich ab, Spannungsfelder relaxieren
- ggf. Anlassen martensitischer Gefügeanteile (falls vorhanden)

Ergebnis:

- ausgeglichenes Festigkeits—Zähigkeits-Verhältnis
- keine Phasenumwandlung (kein Austenit)

3) Gefüge vor & nach Zähglühen



Vorher:

- sprödes Gefüge (z. B. Martensit, grober Perlit, Karbidnetzwerke)
- hohe Kerbempfindlichkeit

Nachher:

- **angelassenes, zäheres Gefüge**
- reduzierte Härte, deutlich höhere Bruchdehnung

4) Bei welchen Stählen?

- **Mittel- bis hochfeste Stähle**, insbesondere:
 - Vergütungsstähle
 - Werkzeugstähle (in Vorstufen)
 - Schweißkonstruktionen aus höherfesten Stählen
- weniger relevant für sehr niedriggekohte Baustähle

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel:

1. Umformung / Schweißen / Härten
2. **Zähglühen**
3. Feinbearbeitung / Montage
4. ggf. abschließende Spannungsarmbehandlung

→ Zähglühen ist **eigenschaftskorrigierend**, nicht strukturaufbauend.

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- **Ja**, wenn:
 - Spröbruchrisiko minimiert werden muss
 - Kerbschlagarbeit relevant ist
- **Nein**, wenn maximale Härte/Festigkeit gefordert ist (dann kontraproduktiv).

7) Ofentypen

- **Kammeröfen**
- **Herdwagenöfen**
- Atmosphäre:
 - Luft (oft ausreichend)
 - Schutzgas bei oxidationssensiblen Oberflächen

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur:

- typ. 500—700 °C
- immer **unterhalb A_{c1}**

Haltezeit:

- 1—4 h, abhängig von:
 - Waddicke
 - Vorzustand
 - gewünschtem Zähigkeitsniveau

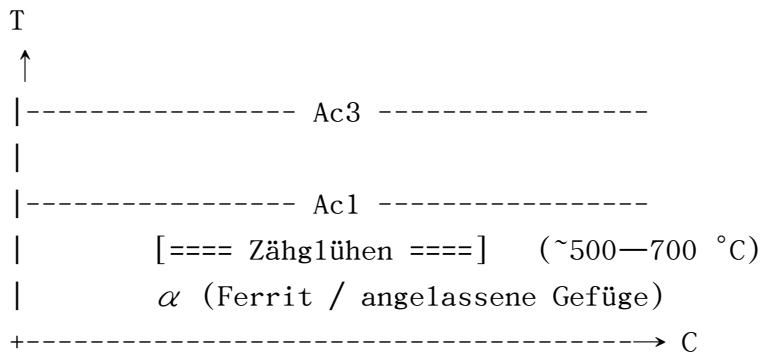
Abkühlung:

- langsam im Ofen oder ruhende Luft

9) Lage im Eisen—Kohlenstoff-Diagramm

- vollständig unterhalb Ac1
- im α -Gebiet (keine Austenitbildung)

Schematisch:

**10) Kosten-Impact (Skala 1—5)**

2—3 / 5 (niedrig bis moderat)

Begründung:

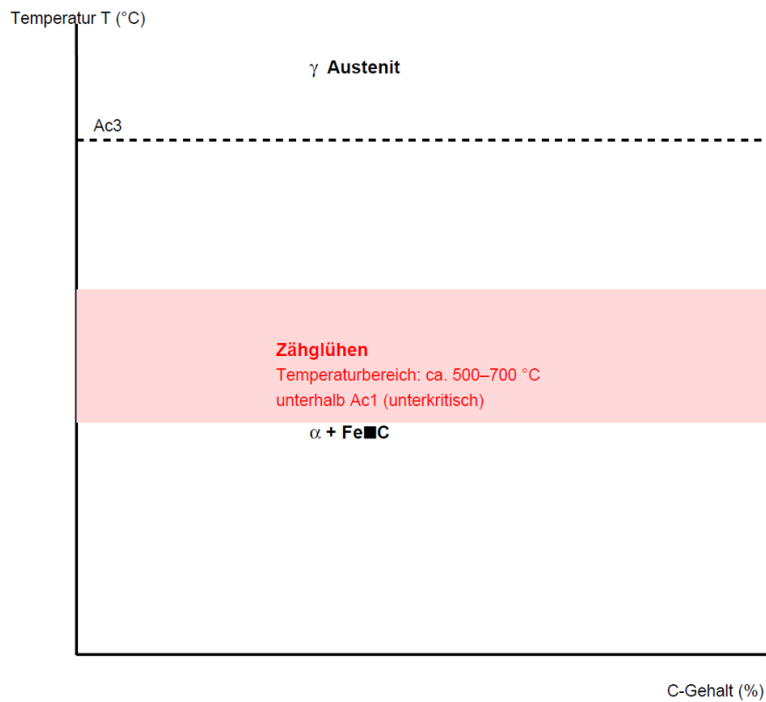
- mittlere Temperaturen
- moderate Haltezeiten
- keine Spezialatmosphäre zwingend erforderlich

Kurzfazit:

Zähglühen ist ein eigenschaftskorrigierendes Glühverfahren zur Erhöhung der Zähigkeit und Reduktion von Sprödigkeit.

Es erfolgt **unterhalb Ac1**, verändert das Gefüge moderat und eignet sich besonders zur **Kerbschlag- und Bruchsicherheitsoptimierung**.

Eisen–Kohlenstoff-Diagramm (reduziert) – Zähglühen



Zähglühen: Erhöhung der Zähigkeit durch unterkritische Wärmebehandlung ohne Austenitbildung

GKZ-Glügen

1) Wann wird GKZ-Glügen angewendet?

- Nach einer Grobkornbildung, typischerweise:
 - nach Grobkornglühen,
 - nach Diffusionsglühen,
 - nach Überhitzung beim Schmieden oder Schweißen,
- vor weiterer Umformung, Zerspanung oder Endwärmebehandlung.
- Klassischer Korrekturprozess, nicht primärer Herstellschritt.

2) Ziele & realisierte Gefügeänderungen

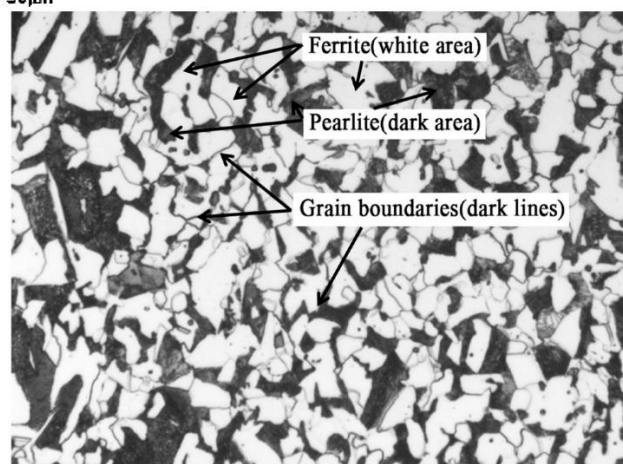
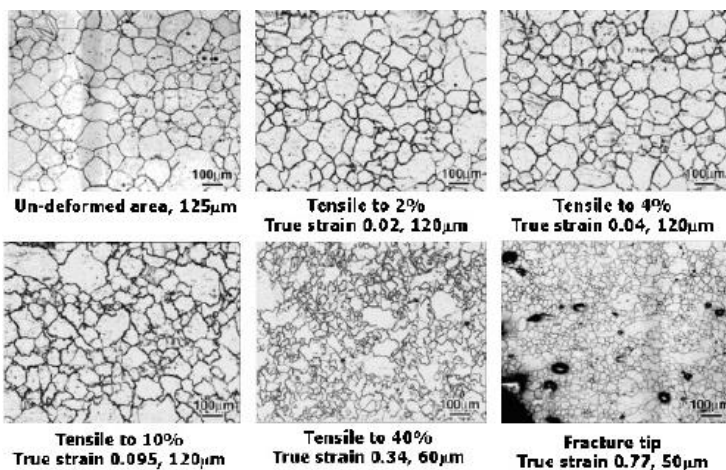
Hauptziele:

- Zerstörung grober Austenitkörner
- Wiederherstellung eines feinkörnigen, zähen Gefüges
- Verbesserung von Zähigkeit, Ermüdungsfestigkeit und Gleichmäßigkeit

Gefügemechanismus:

- Mehrfaches oder gezieltes Durchlaufen des Austenitgebiets
- Neubildung vieler Austenitkeime → Kornverfeinerung
- kontrollierte Abkühlung → feines Ferrit-Perlit-Gefüge

3) Gefüge vor & nach GKZ-Glügen



Vorher:

- sehr **grobes Korn**
- geringe Zähigkeit
- hohe Kerbempfindlichkeit

Nachher:

- **feines, gleichmäßiges Korn**
- deutlich erhöhte Zähigkeit
- verbesserte mechanische Homogenität

4) Bei welchen Stählen?

- **Un- und niedriglegierte Stähle**
- besonders:
 - Schmiedestähle
 - Vergütungsstähle
 - Einsatzstähle nach Überhitzung
- **weniger sinnvoll** bei hochlegierten Stählen (Diffusion limitiert)

5) Typische Prozessabfolge in der Bauteilfertigung

Beispiel:

1. Schmieden / Diffusions- oder Grobkornglühen
2. **GKZ-Glühen**
3. Zerspanung oder Umformung
4. Endwärmebehandlung (Normalglühen, Vergüten)

→ GKZ-Glühen ist ein **strukturheilender Zwischenschritt**.

6) Zusätzliches Glühen am Fertigteil sinnvoll?

- **Nein**, da:
 - GKZ-Glühen ein **Neustrukturierungsprozess** ist
- Nach GKZ-Glühen folgt fast immer:
 - **Normalglühen** oder
 - **Vergüten** zur Eigenschaftseinstellung

7) Ofentypen

- **Kammeröfen**
- **Herdwagenöfen**
- Atmosphäre:
 - Luft (Standard)
 - Schutzgas bei Oxidationsanforderungen

8) Standard-Prozessparameter (Richtwerte)

Temperatur:

- **oberhalb Ac3**, aber **unter Grobkornglühniveau**

- typ. 850—950 °C

Haltezeit:

- **kurz bis moderat**
- ausreichend für vollständige Austenitisierung, **ohne erneutes Kornwachstum**

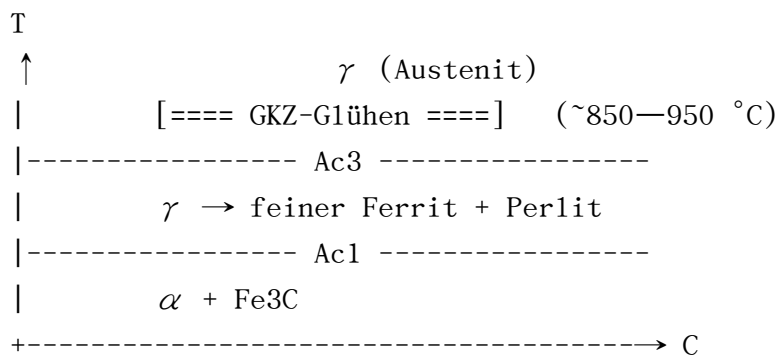
Abkühlung:

- **Luft** oder kontrolliert schneller als beim Grobkornglühen

9) Lage im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

- oberhalb Ac3 (Austenitbildung)
- gezielte Umwandlung beim Abkühlen

Schematisch:



10) Kosten-Impact (Skala 1—5)

3 / 5 (moderat)

Begründung:

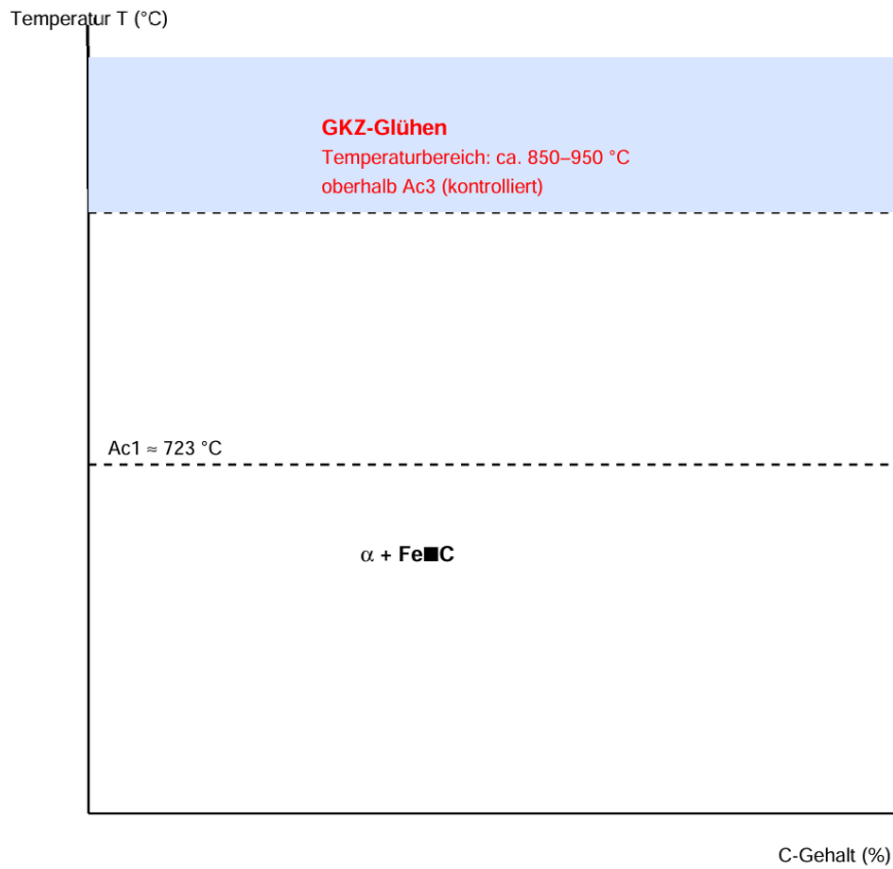
- mittlere Temperaturen
- keine extremen Haltezeiten
- aber zusätzlicher Prozessschritt → Zusatzkosten

Kurzfazit:

GKZ-Glühen ist ein reparierendes Glühverfahren zur gezielten Kornverfeinerung nach Grobkornbildung.

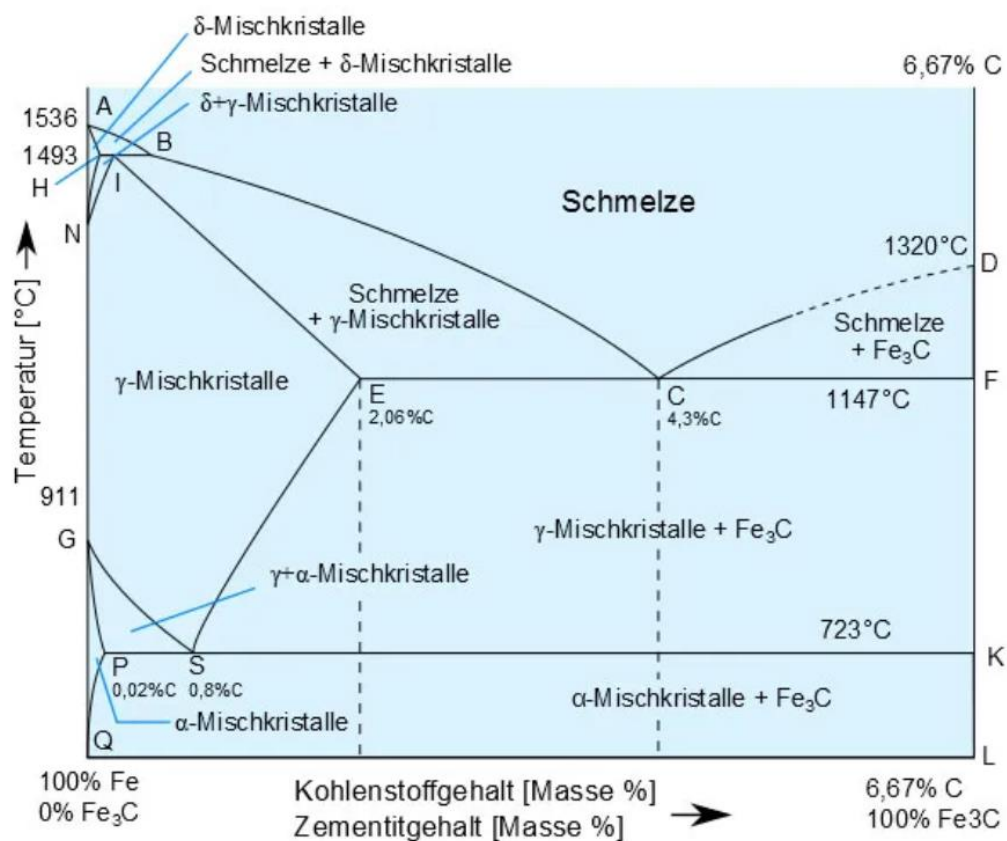
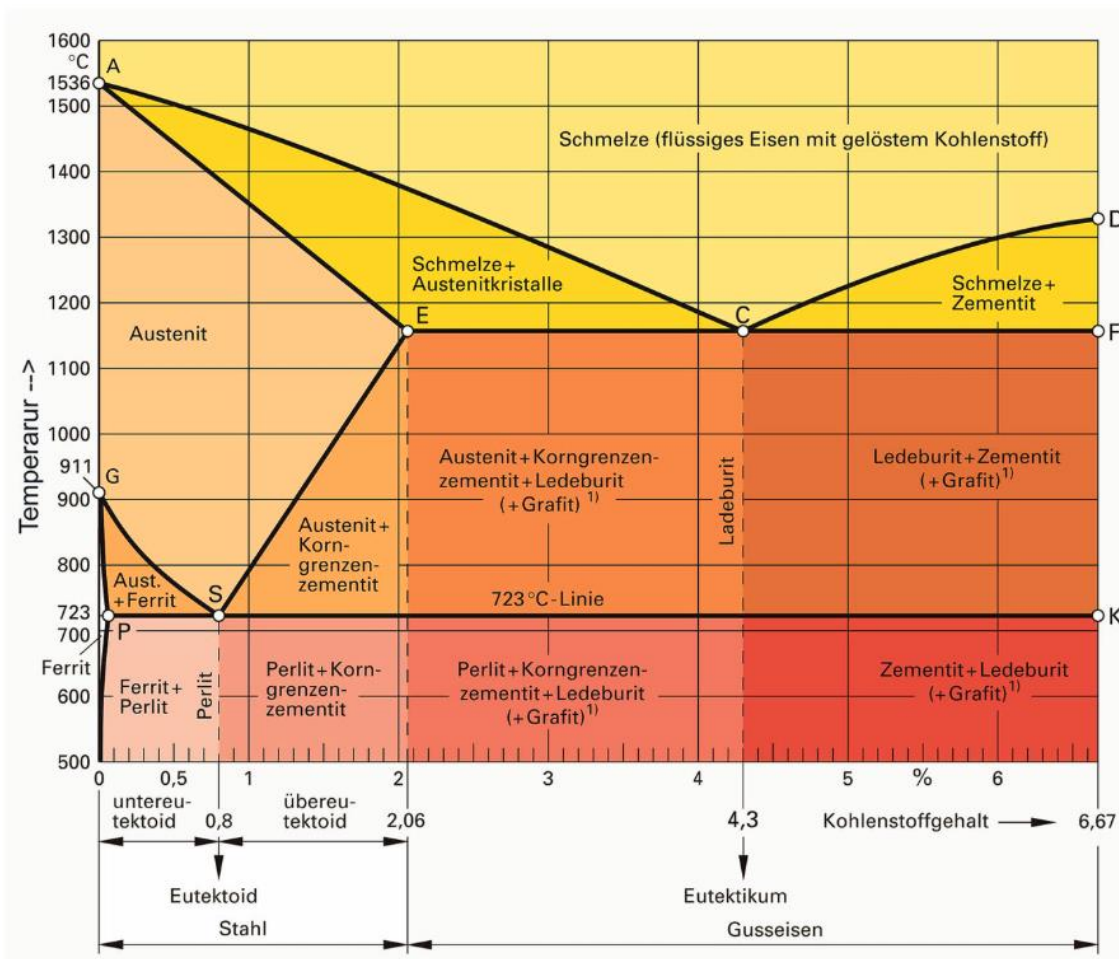
Es stellt die **Zähigkeit und Gefügeharmonie** wieder her und ist Voraussetzung für eine hochwertige Endwärmebehandlung.

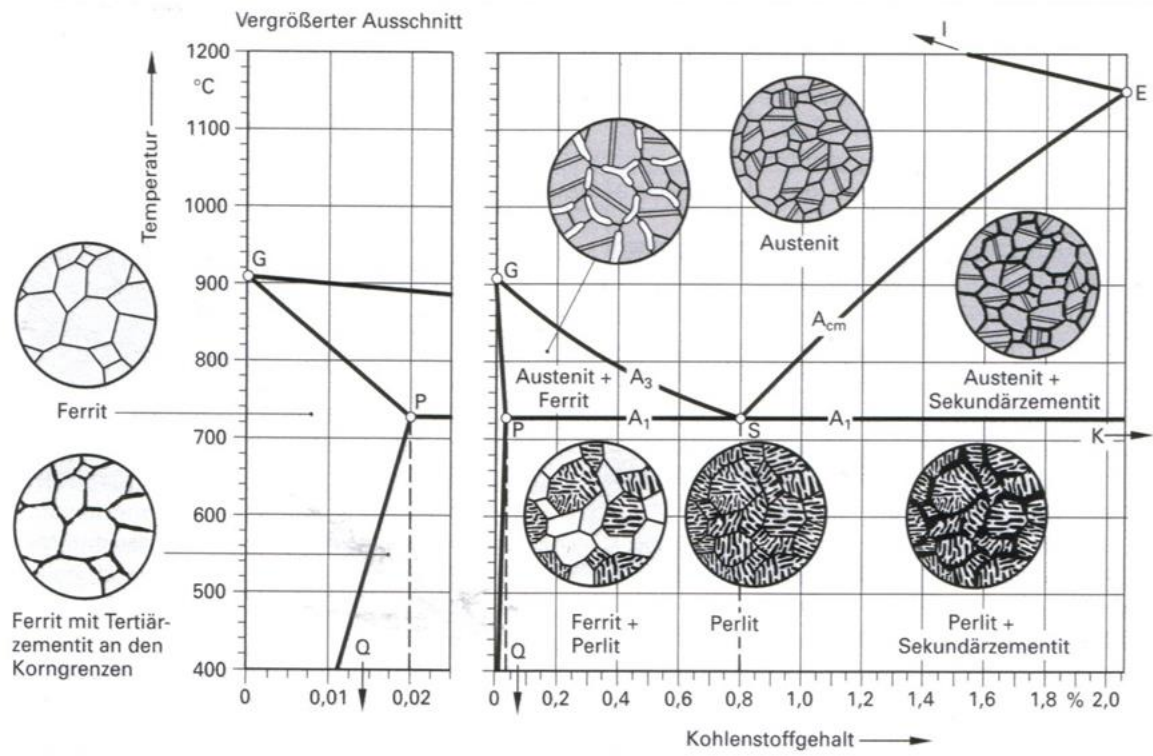
Eisen–Kohlenstoff-Diagramm (reduziert) – GKZ-Glügen



GKZ-Glügen: gezielte Kornverfeinerung durch Austenitisierung ohne erneutes Grobkornwachstum

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm





Ofen Typen

Haubenofen



Kammerofen



Herdwagenofen



Durchlaufofen



Vakuumofen

