

Berechnungen zur Herstellung eines Kleinsudes



VORWORT

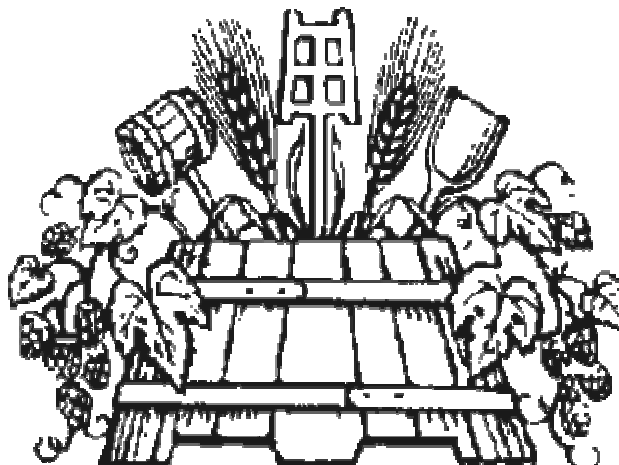
Ausgehend von England und Amerika gewinnt das Hobbybrauen in den letzten Jahren auch bei uns in Deutschland immer mehr Freunde.

Gerade Auszubildende im Brauer- und Mälzberuf können bei der Durchführung eigener Sude experimentell Erfahrungen technologischer Art machen, die ihnen in den teilweise hochtechnisierten Ausbildungsbetrieben nicht immer möglich sind. Der originäre Kontakt zum Produkt Bier und seinen Rohstoffen ist beim Hobbybrauen zu Hause noch möglich.

Im Kontakt mit Auszubildenden vor allem des 1. Ausbildungsjahres merkte der Autor, daß diese "heiß" auf ihr erstes selbstgebrautes Bier sind. Doch oft fehlt es an den rechnerischen Grundlagen, um etwa die Gerätegrößen (Läuterbottich, Würzpfanne), die Gußführung (Haupt- und Nachguß), Teilmaischemengen oder Hopfengaben zu berechnen und dann mit dem ersten Sud zu starten.

Hier deshalb einige Tips sowie wichtige Formeln und Berechnungshilfen, die nach Ansicht des Verfassers notwendig sind, um einen Sud zielgerichtet und erfolgreich durchführen zu können. Dabei wird allerdings ein Mindestfachwissen vorausgesetzt. Es werden nicht alle Fachbegriffe erklärt, und auch auf die verschiedenen Maischverfahren (Temperaturwahl, Zeitdauer der Rasten usw.) wird nicht eingegangen. Rechnerische Fachformeln werden nicht ausführlich erklärt bzw. hergeleitet, sondern unmittelbar angewendet. Sofern erforderlich, werden bei den Formelgrößen die Einheiten (teilw. in Klammern) angegeben.

*von Markus Metzger
Staatl. Berufsschule Karlstadt/Main*



Die einzelnen Kapitel

Die einzelnen Kapitel.....	3
[1] - Vorgaben.....	4
[2] - Berechnung der Schüttung	4
[2.1] - Volumen der vorhandenen Gefäße als Ausgangsgröße für die Berechnung der Schüttung	4
[2.2] - Gewünschte Biermenge als Ausgangsgröße für die Schüttung.....	4
[3] - Berechnung des Hauptgusses	5
[4] - Berechnung der Gesamtmaische	5
[5] - Temperatur des Hauptgusses beim Einmaischen.....	5
[6] - Berechnung von Teilmaischemengen	5
[7] - Berechnung des Nachgusses	6
[7.1] - Brauwassergesamtmenge.....	6
[7.2] - Nachgußmenge	6
[7.3] - Aufteilung des Nachgusses	6
[8] - Berechnung der Hopfengaben	7
[9] - Mittlere Hopfenkochdauer	8
[10] - Berechnung der Hefegabe	8
[11] - Berechnung der Menge des Nachgärextraktes (Speisegabe).....	9
[12] - Zusammenfassung	10

[1] - Vorgaben

Zunächst muß das Ziel bekannt sein! Der angehende Braumeister muß sich also vor dem Brautag überlegen, welche Biersorte er in welchen Mengen herstellen will. Von der Biersorte bzw. deren Stammwürzegehalt (= Extraktgehalt vor der Gärung) sind wiederum die Malzmenge (Schüttung) und die Hopfengabe abhängig.

[2] - Berechnung der Schüttung

Um die Schüttung zu ermitteln, ergeben sich zwei Wege:

- a) Volumen der vorhandenen Gefäße als Ausgangsgröße oder
- b) gewünschte Biermenge als Ausgangsgröße.

[2.1] - Volumen der vorhandenen Gefäße als Ausgangsgröße für die Berechnung der Schüttung

Das größte vorhandene Gefäß bestimmt die Würzmenge. 15 bis 30% des Gefäßvolumens sollten beim Würzekochen mindestens als Steigraum für die Kochbewegung frei bleiben. Etwa 10 bis 15% der Würzmenge verdampfen beim Kochen. Nochmals 10 bis 20% der fertigen Würze gehen bei der Gärung, Lagerung und Abfüllung verloren (= Bierschwand, vgl. oben). Dies muß bei der überschlagsweisen Ermittlung der Menge des fertigen Bieres berücksichtigt werden.

Zusammengefaßt bedeutet das:

- a) Pfannevollwürzmenge = Volumen des größten vorhandenen Gefäßes - Volumen des Steigraums für die Kochbewegung
- b) Ausschlagwürzmenge = Pfannevollwürzmenge - Volumen der voraussichtlich verdampfenden Wassermenge

Diese ermittelte theoretische Ausschlagwürzmenge wird in die Formel von 2.2 eingesetzt. Ausschlagwürzmenge ist aber nicht gleich fertige Biermenge, denn es gehen während des Brauvorganges (Gärung, Lagerung und Abfüllung) 10 bis 20% der Ausschlagwürze verloren (= Bierschwand).

Es gilt:

- a) Biermenge = Ausschlagwürzmenge - Volumen der Bierverluste (Bierschwand)

[2.2] - Gewünschte Biermenge als Ausgangsgröße für die Schüttung

Zur Berechnung dient folgende Formel:

$$\text{Schüttung[kg]} = \frac{\text{Ausschlagwürzmenge[l]} \cdot \text{Konz. Ausschlagwürzmenge[\%mass]} \cdot \text{Dichte[kg/l]}}{\text{Sudhausausbeute[\%]}}$$

Es sollte wegen des unter 2.1 angesprochenen Bierschwandes mit einer gegenüber der gewünschten Biermenge entsprechend erhöhten Ausschlagwürzmenge gerechnet werden. Die Ausschlagwürzkonzentration entspricht in etwa der vom Zollamt zur Berechnung der Biersteuer herangezogenen Stammwürze. Der Wert der Dichte kann Tabelle 1 entnommen werden. Die Sudhausausbeute beträgt in modernen Brauereien 75% und mehr. Solche Werte werden allerdings im Kleinversuch nicht erreicht. Es empfiehlt sich, mit maximal 70 % (evtl. noch weniger) zu rechnen.

[3] - Berechnung des Hauptgusses

Mit dem Begriff Hauptguß bezeichnet der Brauer die Wassermenge, die er zum Einmischen des Malzschrotes benötigt. Der Hauptguß macht etwa die Hälfte der gesamten, benötigten Brauwassermenge aus. Die zweite Hälfte des Brauwassers wird als Nachguß bezeichnet (Berechnung: vgl. unten Punkt 6).

Überschlägig rechnet man für den Hauptguß mit etwa 4 bis 5 l Wasser pro kg Malz bei hellem Bier bzw. 3 bis 4 l Wasser pro kg Malz bei dunklem Bier. Man kann natürlich auch genauer rechnen. Hierzu gilt es, folgende Formel anzuwenden:

$$\text{Hauptguß[l]} = \frac{\text{Sudhausausbeute[\%]} \cdot (100\% - \text{Vorderwürzekonzentration[\%]}) \cdot \text{Schüttung[kg]}}{\text{Vorderwürzekonzentration[\%]} \cdot 100\%}$$

Die Vorderwürzekonzentration in Masseprozenten ist frei zu wählen; sie liegt bei Vollbieren zwischen 14 und 17 % und bei Starkbieren zwischen 17 und 22%.

[4] - Berechnung der Gesamtmaische

Die Kenntnis des Volumens der Gesamtmaischemenge kann von Interesse sein (z. B. für die Größe des Maischgefäßes bzw. des Läuterbottichs). Ein kg Malzschrot verdrängt eingemaischt je nach Feinheitsgrad der Schrotung ein Volumen von 0,65 bis 0,8 l Wasser. Näherungsweise rechnet man mit 0,7 l Wasserverdrängung pro kg Malzschrot. Dann ergibt sich:

$$\text{Gesamtmaische [l]} = \text{Hauptguß [l]} + (\text{Schüttung in kg} \cdot 0,7 \text{ l/kg})$$

[5] - Temperatur des Hauptgusses beim Einmischen

In den Brauereien hat man Reserven mit warmem bzw. heißem Wasser, das man aus energetischen Gründen zum Einmischen nimmt. Wenn die Einmischtemperatur gewählt ist und die Schrottemperatur bekannt ist, kann man mittels Mischungsformel (unter Vernachlässigung der spezifischen Wärmen von Schrot und Wasser) die notwendige Hauptgußtemperatur berechnen.

$$\text{Hauptgußtemperatur[°C]} = \text{Einmischtemp.} + \frac{\text{Schüttung[kg]} \cdot \text{Einmischtemp.} - \text{Temp.derSchüttung}}{\text{Hauptguß[kg]}}$$

Wesentlich einfacher ist es allerdings, bei einem Kleinsud einfach kaltes Wasser auf Einmischtemperatur aufzuheizen.

[6] - Berechnung von Teilmaischemengen

Am einfachsten ist es bei der Durchführung eines Kleinsudes, ein Infusionsmaischverfahren anzuwenden. Dabei werden keine Teilmaischen gezogen und gekocht, sondern die Gesamtmaische wird über die Rasten bis zur Abmischtemperatur aufgeheizt.

Wer ein Dekoktionsverfahren ausprobieren will, muß allerdings die Teilmaischemengen berechnen. Dies geht über das sogenannte Mischungskreuz oder über die nachfolgende Formel (in der das Mischungskreuz versteckt ist).

$$\text{Kochmaische[l]} = \frac{\text{Gesamtmaische[l]} \cdot (\text{Aufmischtemperatur} - \text{Rastmaischtemperatur})}{\text{Kochmaischtemperatur} - \text{Rastmaischtemperatur}}$$

Man sollte bei der Anwendung dieser Formel Auskühlverluste mit berücksichtigen. So kühlt die Rastmaische im Kleinversuch trotz Wärmedämmung bis zum Aufmaischen 5 bis 10°C ab, und die Kochmaische wird maximal mit einer Temperatur von 85 bis 90°C zugebrüht.

[7] - Berechnung des Nachgusses

Auch für die Berechnung des Nachgusses gibt es zwei Wege. Einmal über Richtwerte (vgl. Tab.2) oder sehr ausführlich, indem man die Brauwassergesamtmenge berechnet und davon die schon bekannte Hauptgußmenge abzieht. Bei Starkbieren gibt man übrigens weniger Nachgüsse als bei Vollbieren.

Vorderwürzekonzentration	Verhältnis Hauptguß : Nachguß
14 %	1 : 0,7
16 %	1 : 1,0
18%	1 : 1,2

Tabelle 2: Verteilung von Haupt- und Nachguß bei Vollbier in Abhängigkeit von der Vorderwürzekonzentration.

[7.1] - Brauwassergesamtmenge

$$\text{Brauwasser [l]} = \text{Pfannevollwürze [l]} + \text{Treberwasser [l]}$$

Die Pfannevollwürze (= gesamte Würzmenge in der Pfanne vor dem Würzekochen, vgl. oben Punkt 2.1) ist bekannt oder wird berechnet:

$$\text{Pfannevollwürze [l]} = \text{Würzmenge nach Kochung [l]} \cdot \left(\frac{1 + \text{Verdampfungsziffer}[\%] \cdot \text{Kochdauer}[\text{min.}]}{(60 \text{ min.} \cdot 100\%)} \right)$$

Die Verdampfungsziffer gibt den Prozentsatz der pro Stunde von der Pfannevollwürzmenge (= Grundwert 100%) verdampften Menge an. Sie beträgt in Brauereien 8 bis 12% . Im Kleinsud liegt sie erfahrungsgemäß höher (15 bis 25 %, vgl. vorne Punkt 2.1). Die Würze sollte mindestens 60 Minuten (besser 90 Minuten) gekocht werden (vgl. unten Punkt 9).

Das Treberwasser (= Wasser, das nach dem Abläutern in den Trebern verbleibt) wird folgendermaßen ermittelt:

$$\text{Treberwasser [l]} = 0,96 \text{ l/kg} \cdot \text{Schüttung [kg]}$$

Diese Formel ist eine Zusammenfassung mehrerer Rechnungen. Vorausgesetzt wurde dabei, daß 50 kg Malzschrot etwa 60 kg Naßtreber mit 80 % Wassergehalt ergeben.

[7.2] - Nachgußmenge

$$\text{Nachguß [l]} = \text{Brauwasser [l]} - \text{Hauptguß [l]}$$

[7.3] - Aufteilung des Nachgusses

Zur besseren Auswaschung des in den Trebern enthaltenen Extraktes gießt man den gesamten Nachguß nicht auf einmal über die Treber, sondern in zwei bis drei gleichen Teilen.

[8] - Berechnung der Hopfengaben

Die Biersorte und der vorhandene Hopfen (Aroma- oder Bitterstoffhopfen, Doldenhopfen, Hopfenpulver oder Hopfenextrakt) bestimmen die Hopfengabe, also die dem Sud zuzusetzende Menge.

In Tabelle 3 sind die Bitterstoffmengen für verschiedene Biersorten angegeben. Im Hopfen haben vor allem die alpha-Säuren eine bitternde Wirkung für das Bier ("Edelbittere"). Die im fertigen Bier gewünschte Bitterstoffmenge wird in Bittereinheiten angegeben, wobei 1 Bittereinheit (BE) näherungsweise gleich 1 mg Iso-alpha-Säuren pro Liter fertigen Bieres entspricht.

Biersorte	Bittereinheiten	mg Iso-alpha-Säuren/l Bier
Weizen	15 – 20	15 – 20
Vollbier	18 – 24	18 – 24
Märzen	20 – 25	20 – 25
Export	22 – 26	22 – 26
Bock	28 – 36	28 – 36
Pils	30 – 38	30 – 38
Alt	35 – 50	35 – 50

Tabelle 3: Bittereinheiten der gängigsten Biersorten

Ein weiterer, die Hopfengabe beeinflussender Faktor ist die Bitterstoffausbeute des Hopfenproduktes bzw. der Brauanlage. Durchschnittliche Bitterstoffausbeuten liegen bei 20 bis 30%. Dies bedeutet, daß nur noch 20 bis 30 % der beim Würzekochen zudosierten Bitterstoffe (= alpha-Säuren) im fertigen Bier als isomerisierte Bitterstoffe (= Iso-alpha-Säuren) vorhanden sind. Die restlichen Bitterstoffe gehen im Brauprozess verloren. In Tabelle 4 finden sich Bitterstoffausbeuten für verschiedene Hopfenprodukte.

Hopfenprodukt	Bitterstoffausbeute
Doldenhopfen	20 bis 25%
Hopfenpellets	25 bis 30%
Hopfenextrakt	28 bis 30%

Tabelle 4: Durchschnittliche Bitterstoffausbeuten der Hopfenprodukte

Sollte jemand mit Doldenhopfen ohne Kenntnis der alpha-Säuren-Gehalte arbeiten wollen, so bietet die Tabelle 5 eine Orientierung bezüglich der Hopfenmenge.

Biersorte	Hopfenmenge pro Liter Ausschlagwürze
Märzen	1,5 bis 2,0g
Export	2,0 bis 2,2g
Bock	2,3 bis 3,3g
Pils	2,5 bis 3,5g

Tabelle 5: Hopfengabe bei Doldenhopfen ohne Kenntnis des alpha-Säuren-Gehaltes

Der Hopfen wird nicht auf einmal gegeben, sondern in mehreren Teilen. Standardhopfengaben (Zeitpunkt und Mengenanteile) sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Anzahl der Gaben	Verteilung	Zugabezeitpunkt
1	100%	bei Kochbeginn
2	70%	bei Kochbeginn
	30%	15 bis 20 Minuten vor dem Ausschlagen
3	60%	bei Kochbeginn
	20%	30 Minuten nach dem Kochbeginn
	20%	10 bis 15 Minuten vor dem Ausschlagen

Tabelle 6: Standardhopfengaben

Hat man sich über alle die Hopfengabe bestimmenden Einflußgrößen Klarheit verschafft, kann man mit nachfolgender Formel die notwendige Hopfenproduktmenge berechnen:

$$\text{Hopfenproduktmenge d.Gabe [g]} = \frac{\text{Bitterstoffeinheiten [BE bzw. mg alpha/l]} \cdot \text{Ausschlagwürzmenge [l]} \cdot \text{Prozentanteil der jeweiligen Gabe an der Gesamtgabe [\%]} \cdot 100\%}{\text{Bitterstoffausbeute [\%]} \cdot \text{Prozentsatz alpha-Säuren-Anteil des Hopfenprodukts [\%]} \cdot 1000 [\text{mg/g}]}$$

[9] - Mittlere Hopfenkochdauer

Die zunächst nicht in Wasser bzw. Würze löslichen Bitterstoffe des Hopfens werden durch das Würzekochen wasserlöslich (= isomerisiert). Damit der gegebene Hopfen vollständig isomerisieren kann, muß eine sogenannte mittlere Hopfenkochdauer von mindestens 60 Minuten erreicht werden.

Die mittlere Hopfenkochdauer berechnet man mittels Mischungsformel, indem man die alpha-Säuren-Mengen pro Hopfengabe mit der Kochdauer der jeweiligen Gabe gewichtet.

Die alpha-Säuren-Menge der jeweiligen Gabe ergibt sich zunächst nach folgender Formel:

$$\text{alpha-Säuren-Menge der Gabe [g]} = \frac{\text{Bittereinheiten [mg/l]} \cdot \text{Ausschlagwürzmenge [l]} \cdot \text{Prozentanteil der jeweiligen Gabe [\%]}}{\text{Bitterstoffausbeute [\%]} \cdot 1000 [\text{mg/l}]}$$

Nun kann mit den ermittelten alpha-Säuren-Mengen der Gaben weitergerechnet werden:

$$\begin{aligned} \text{Mittlere Hopfenkochdauer [min.]} = & \frac{\text{alpha-Säuren-Mengen [mg] der 1. Gabe} \cdot \text{Kochdauer [min.] der 1. Gabe} + \\ & \text{alpha-Säuren-Mengen [mg] der 2. Gabe} \cdot \text{Kochdauer [min.] der 2. Gabe} + \\ & \text{alpha-Säuren-Mengen [mg] der x. Gabe} \cdot \text{Kochdauer [min.] der x. Gabe}}{\text{gesamte dem Sud zudosierte alpha-Säuren-Menge [mg]}} \end{aligned}$$

[10] - Berechnung der Hefegabe

Je größer die Hefegabe ist, desto schneller verläuft die Gärung bei gleichzeitig geringerer Vermehrungsrate. Da die Obergärung durch die wärmeren Gärtemperaturen schneller verläuft, gibt man etwas weniger obergärige Hefe als untergärige Hefe.

Als Richtwert rechnet man bei der Hefegabe mit

- ↪ 5 bis 10 ml untergäriger Hefe pro l Anstellwürze (= 0,5 bis 1 l Hefe/hl Anstellwürze) bzw. mit
- ↪ 3 bis 5 ml obergäriger Hefe pro l Anstellwürze.

[11] - Berechnung der Menge des Nachgärextraktes (Speisegabe)

Selbständig durchgeführte Kleinsude scheitern oft erst an der Gärung, insbesondere an der Nachgärung. Entweder wird die Menge des Nachgärextraktes zu gering gewählt, so daß das fertige Bier ohne Rezens ist und darum schal schmeckt. Oder es ist zuviel Nachgärextrakt vorhanden, und das Bier ist völlig überspundet (Gushingerscheinungen beim Einschenken). Bei der Flaschengärung baut sich dann schnell ein Innendruck von 4 bar und mehr auf (Gefahr des Berstens mit entsprechenden Verletzungen).

Empfehlenswert ist es, das Jungbier bei der Hauptgärung restlos endvergären zu lassen und den Nachgärextrakt vor dem Schlauchen in Form von "Speise" zuzugeben (analog zur Weizenbierherstellung). Geschlaucht wird in Flaschen oder Transportfässer, wo dann die Nachgärung bzw. Reifung stattfindet.

"Speise" ist in unserem Fall Ausschlagwürze, die nach dem Würzekochen noch vor dem Abkühlen entnommen wird und unter keimfreien Bedingungen am besten sehr kalt im einem entsprechenden Behälter bis zur Abfüllung aufbewahrt wird. Diese unvergorene Würze wird unmittelbar vor der Abfüllung dem restlos endvergorenen Jungbier nach Abheben der Kräusen (Untergärung) bzw. Hefedecke (Obergärung) zugegeben. Dabei ist auf eine gute Durchmischung von Jungbier und Speise zu achten.

Man rechnet je nach Stammwürzegehalt mit einer Speisemenge in Höhe von 5 bis 7 % der Ausschlagwürze (vgl. Tabelle 7). Hierdurch erreicht man beim endvergorenen Bier eine Spindelwerterhöhung von ca. 0,8 bis 1 %mas.

Konzentration der Speise (%mas)	Speisemenge in Prozent der Ausschlagwürze
11 %mas	7%
12 %mas	6%
13 %mas	5%

Tabelle 7: Speisegabe bei durchschnittlichen Endvergärungsgraden

Auch die genaue Berechnung der Speisegabe mittels Mischungskreuz ist möglich, wobei die so errechneten Werte erfahrungsgemäß um 10 bis 15 % zu hoch ausfallen und entsprechend korrigiert werden müssen (= Korrekturfaktor).

Hier die Formel:

$$\text{Speisegabe [l]} = \frac{\text{Ausschlagwürzemenge[l]} \cdot \text{Spindelwerterhöhung[%mas]} \cdot (100\% - \text{Korrekturfaktor[%]})}{(\text{Ausschlagwürzekonz. [%mas]} - \text{Spindelwert des endvergorenen Jungbieres [%mas]}) \cdot 100\%}$$

Wenn mit Speise gearbeitet wird, muß die Hefegabe neu berechnet werden, da weniger Würze angestellt wird.

[12] - Zusammenfassung

Es wurden die wichtigsten Berechnungen dargestellt, die bei der Herstellung eines Kleinsudes ausgeführt werden müssen.

Tabelle 8 gibt abschließend noch einen Überblick über die im Text genannten Zahlenvorgaben. Diese Richtwerte sollen dem Vergleich und der Kontrolle bei der Sudherstellung dienen.

☞ Malzbedarf bei Vollbier	150 bis 210 g Malz/l Bier
☞ Malzbedarf bei Starkbier	230 bis 320 g Malz/l Bier
☞ Sudhausausbeute	65 bis 75 %
☞ Steigraum beim Würzekochen	15 bis 30% der Pfannevollwürze
☞ Gesamtverdampfung	10 bis 15% der Pfannevollwürze
☞ Verdampfung pro Stunde	8 bis 12% der Pfannevollwürze
☞ Würzekochdauer	60 bis 90 Minuten
☞ Hauptguß (helles Bier)	4 bis 5 l Wasser/kg Schüttung
☞ Hauptguß (dunkles Bier)	3 bis 4 l Wasser/kg Schüttung
☞ Wasserverdrängung von Schrot	0,65 bis 0,80 l/kg Schrot
☞ Vorderwürzekonzentration bei Vollbier	14 bis 17%mas (durchschn. 16%mas)
☞ Vorderwürzekonzentration bei Starkbier	17 bis 22%mas (durchschn. 20%mas)
☞ anfallende Trebermenge	1,2 kg Treber mit 80% Wasser/kg Schüttung
☞ Schwand von Würze bis Bier	10 bis 20% der Ausschlagwürze
☞ Auskühlung der Rastmaische	5 bis 10 °C
☞ Auskühlung der Kochmaische	5 bis 10 °C
☞ Mittlere Hopfenkochdauer	mindestens 60 Minuten
☞ Hefegabe (untergärige Hefe)	5 bis 10 ml Hefe/l Ausschlagwürze
☞ Hefegabe (obergärige Hefe)	3 bis 5 ml Hefe/l Ausschlagwürze
☞ Anstelltemperatur (untergärige Hefe)	5 bis 7 °C
☞ Anstelltemperatur (obergärige Hefe)	15 bis 20 °C

Tabelle 8: Vorgabewerte für die Kleinsudherstellung