

REZEPTSUCHE

IBU-Rechner nach Tinseth



Nach Biersorte:

- Alle Rezepte
- ...außer Kategorie
- Ale, Belgisches Blonde
- Ale, Belgisches Dubbel/Triple
- Ale, Belgisches Dunkel
- Ale, Belgisches Witbier/Blanche
- Ale, Bitter
- Ale, Brown
- Ale, Cascadian Dark Ale

...enthält folgendes Malz:

egal

...weiteres Malz:

egal

...Maischverfahren:

egal

...Hopfen:

egal

...weiteren Hopfen:

egal

...weitere Zutat:

egal

...Gärung:

egal

...verwendete Hefe:

egal

...und enthält Suchbegriff:

Klonbier nur Klonrezepte

Extrakt zu Kochbeginn¹: Brix

Extrakt am Kochende¹: Brix =17.5°P im Mittel über die Kochzeit

Stammwürze²: Brix

Ausschlagswürze [L]³:

Nachisomerisierungszeit [min]⁴:

Temperatur am Ende der Nachisomerisierung
[°C]⁴: =0 min zusätzlich gerechnete Kochzeit für jede Hopfengabe

	Gabe nach Würzebruch ⁵	Dolden ⁶	Pellets ⁶	Menge [g]	α-Säure [%]	Kochzeit [min]	
1. Hopfengabe	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="5.4"/>	<input type="text" value="90"/>	=49 IBU (22.7% Hopfenausnutzung; 42.5% Anteil an
2. Hopfengabe	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="18"/>	<input type="text" value="11.4"/>	<input type="text" value="90"/>	=34.2 IBU (25% Hopfenausnutzung; 29.7% Anteil an
3. Hopfengabe	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="23"/>	<input type="text" value="11.7"/>	<input type="text" value="30"/>	=32.1 IBU (17.9% Hopfenausnutzung; 27.8% Anteil :
4. Hopfengabe	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
5. Hopfengabe	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

+5

Σ

=115.3 IBU (wahrgenommene Bittere⁷: sehr her

¹der IBU-Rechner ermittelt aus dem Extrakt zu Kochbeginn und dem Extrakt am Kochende den mittleren Extrakt über die Kochzeit, welcher maßgeblich die Hopfenausnutzung und damit den berechneten IBU-Wert beeinflusst; Umrechnung Brix in Plato: $Brix = Plato \times 1.03$

²die Stammwürze wird nur zur Berechnung der wahrgenommenen Bittere⁷ benötigt und hat keinen Einfluss auf die Berechnung des IBU-Wertes

³Ausschlagswürze (Gesamtvolumen nach dem Kochen), *inklusive* mögliches Wasser zum Einstellen der Stammwürze, also das Gesamtvolumen in dem sich die iso- α -Säuren verteilen

⁴die Nachisomerisierungszeit (Zeit zwischen Kochende und Whirlpool) wird zur Kochzeit jeder Hopfengabe automatisch hinzugerechnet, allerdings entsprechend ihrer Dauer und der Geschwindigkeit der Abkühlung mit einem niedrigeren Wert gegenüber der regulären Kochzeit (siehe Theorieteil)

⁵bei Hopfengaben nach dem Würzebruch wird eine 10% höhere Hopfenausnutzung angenommen als von der Tinseth-Formel berechnet; bei Hopfengaben zu Kochbeginn oder bei Vorderwürzehopfung Häckchen bitte wegklicken

⁶die Tinseth-Formel basiert auf Hopfendolden; bei Verwendung von Hopfenpellets wird eine 10% höhere Hopfenausnutzung angenommen

⁷die wahrgenommene Bittere ist der Eindruck den die Bittere hinterlässt und wird durch das Verhältnis aus berechneter Bittere in IBU und der Stammwürze ausgedrückt; ein Verhältnis von <1.0 gilt als "sehr mild", $1.0 - 1.5$ als "mild", 1.5 bis 2.5 als "ausgewogen", 2.5 bis 3.0 als "moderat herb" und >3.0 als "sehr herb" (z.B. $32 \text{ IBU} / 12^\circ\text{P} = 2.7 = \text{"moderat herb"}$)

Theorie

"Wieviel IBU hat'n das?" Mit dieser Frage sind wir sicher schon von der Außenwelt, typischerweise von anderen Hobbybrauern, bei der Verkostung eines unserer Biere konfrontiert worden. Der IBU-Wert (oder "IBUs"), als Maß für die Bittere eines Bieres, ist eine analytisch und in gewissen Grenzen sensorisch bestimmbare Größe, d.h. er kann im fertigen Bier gemessen bzw. abgeschätzt werden. Als Brauer müssen wir allerdings schon vorher abschätzen können wie bitter das Bier ungefähr schmecken wird. Denn wenn das Hefeweizen am Ende so bitter wird wie ein India Pale Ale, haben wir natürlich vollkommen daneben gegriffen. Damit dies nicht geschieht, hier etwas Theorie:

Die Hopfenbittere steckt vorrangig in den α -Säuren (z.B. den chemisch eng verwandten Humulon, Adhumolon, Cohumulon, u.a.), die sich in den Weichharzen der Hopfendolde befinden. Je nach Hopfensorte liegen typische α -Säuregehalte zwischen 2-15%, also 2-15% der Hopfenmasse sind reine α -Säure. Beim Kauf von Hopfen ist dieser Wert in aller Regel auf eine Kommastelle genau auf der Verpackung angegeben. Die α -Säuren sind nur schwach löslich und können daher nur geringfügig zur Bittere des Bieres beitragen. Während des Hopfenkochens werden die α -Säuren jedoch strukturell in so genannte iso- α -Säuren (iso-Humulon, iso-Adhumolon, etc.) umgeformt (isomerisiert), welche in heißer Würze und Bier sehr gut löslich sind und daher maßgeblich die Bittere des Bieres bestimmen. Die Bittere von Bier wird in *IBU* (International bittering units) angegeben, wobei 1 IBU gleich 1 mg iso- α -Säure / l entspricht. Was bedeutet das jetzt für uns Brauer? Verschiedene IBU-Werte sind für die einzelnen

Biersorten charakteristisch (siehe Tabelle). Ein Hefeweizen z.B. ist in der Regel sehr mild gehopft und IBU-Werte >20 werden meist schon als zu bitter empfunden. Im Gegensatz dazu muss ein Norddeutsches Pilsner mindestens 35 IBU besitzen, um ein anständiger Vertreter seiner Art zu sein und India Pale Ales oder Barley Wines fangen unter 40-50 IBU gar nicht erst an.

Biersorte	Bittere [IBU]
Weizen	11-15
Märzen	22-28
Kölsch	20-30
Altbier	25-50
Export	22-30
Pilsner	35-45
Bock	20-30
Schwarzbier	22-30
Porter	20-40
Barley Wine	50-100

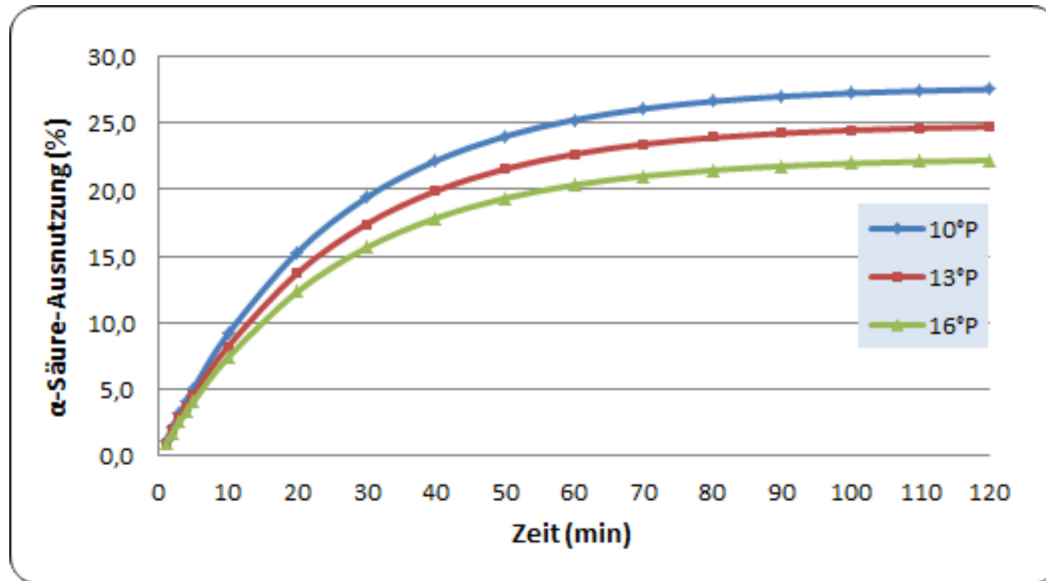
Wieviel Hopfen müssen wir nun kochen, um auf diese IBUs zu kommen? Theoretisch könnte die zugegebene α -Säuremenge einfach durch Multiplikation von Hopfenmenge (in mg) und dessen α -Säuregehalt (als Dezimalwert) bestimmt werden, also z.B. 8 g Hopfen mit 5% α -Säure wären 400 mg (8.000 mg x 0.05) reine α -Säure. Bei 25 Liter Bier wären das 16 mg/l = 16 IBU (400 mg / 25 l). Zum allergrößten Unglück für uns Brauer endet jedoch nicht alle α -Säure aus dem Hopfen als iso- α -Säure im Bier. In Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren teilweise sogar recht wenig, wie wir weiter unten noch sehen werden. Der Prozentsatz an α -Säure, welcher während des Kochens tatsächlich in die Würze gelangt, wird als *Hopfenausnutzung* bezeichnet. Und ab hier betreten wir unsicheres Terrain.

Zur Abschätzung der Hopfenausnutzung und zur Berechnung der Bitterkeit im Bier wurden über die Jahre verschiedene Formeln, Tabellen und Näherungen vorgeschlagen. Als eine der Besten wird die Formel nach **Glenn Tinseth** gehandelt, auf der auch der IBU-Rechner basiert:

Gleichung 1:

$$IBU = \left(\frac{\text{Hopfen[g]} \times \alpha\text{-Säure[\%]} \times 10}{\text{Volumen [L]}} \right) \times \left(1,65 \times 0,000125^{(0,004 \times \text{Würzegehalt[°P]})} \right) \times \left(\frac{1 - e^{(-0,04 \times \text{Kochzeit[min]}}}{4,15} \right)$$

Aus der ersten Klammer geht hervor, dass - wie in unserem Rechenbeispiel weiter oben - die zu erwartenden IBUs in einem definierten Volumen Würze von der zugegebenen Hopfenmenge und dessen α -Säure Gehaltes abhängt. Der Faktor 10 ergibt sich aus der Umrechnung von g Hopfen in mg (x1000) und dem Dezimalwert des α -Säure-%-Wertes (/100). Die zweite und dritte Klammer ("Bigness factor" und "boil time factor") geben zusammen genommen die von Tinseth empirisch ermittelte Hopfenausnutzung als Dezimalwert wieder. Sie berücksichtigen die Abhängigkeit der Hopfenausnutzung vom Würzegehalt (Extrakt) und von der Kochzeit. Die Hopfenausnutzung nimmt mit höherer Würzekochzeit zu, während sich ein höherer Würzegehalt nachteilig auswirkt. Zur Veranschaulichung der Zusammenhänge kann folgendes Diagramm dienen:



Die Hopfenausnutzung liegt typischerweise zwischen >0 und 30%, d.h. >70% der im Hopfen enthaltenen α -Säure wird nicht isomerisiert bzw. gelöst und trägt demnach nicht zur Bittere des Bieres bei. Deutlich wird auch, daß die Hopfenausnutzung nach ca. 60-90 min Kochzeit ein Plateau erreicht und längere Kochzeiten keinen großen Zugewinn an Bitterstoffen mehr erbringen. Die meisten Braurezepte verlangen deshalb i.d.R. eine Würzekochzeit von 60-90 min.

Der IBU-Rechner trifft die Annahme, daß sich die Hopfenausnutzung mit Hopfenpellets gegenüber Hopfendolden

um den Faktor 1.1 erhöht. Bei der Pelletherstellung werden die Dolden einer gewissen Oxidation und erhöhten Temperaturen ausgesetzt, welche möglicherweise die Geschwindigkeit der α -Säure-Isomerisierung beeinflussen. Des Weiteren werden die Pellets nach Zugabe in der Würze rasch suspendiert - die feinere Verteilung der α -Säure führt zu einer leichteren Isomerisierbarkeit und daher zu einer höheren Löslichkeit. Da die Tinseth-Formel auf Experimenten mit Hopfendolden basiert, wird bei der Verwendung von Hopfenpellets die Hopfenausnutzung mit dem Faktor 1.1 nach oben korrigiert, während bei Verwendung von Hopfendolden nicht korrigiert wird.

Weiterhin hat Glenn Tinseth seine Formel mit Hopfengaben direkt zu Kochbeginn entwickelt. Durch Ausscheidungen mit dem Würzebruch gehen der Würze jedoch eine gewisse Menge an Bitterstoffen verloren. Der IBU-Rechner erhöht die Hopfenausnutzung bei Gaben nach dem Würzebruch um den Faktor 1.1 gegenüber der Tinseth-Formel. Bei Vorderwürzehopfung bzw. bei Hopfengaben zu Kochbeginn gilt die Tinseth-Formel unverändert (Vergleiche dazu auch Hubert Hanghofer's [Brauplaner](#)).

In der Zeit zwischen Kochende und Kühltisch werden weiterhin α -Säuren zu iso- α -Säuren isomerisiert. Diese *Nachisomerisierung* wird von der Tinseth-Formel nicht berücksichtigt. Da sie bei Temperaturen $<100^{\circ}\text{C}$ stattfindet, verläuft sie nicht ganz so schnell wie die reguläre Isomerisierung während des Hopfenkochens. Je niedriger die Temperatur, desto langsamer. Die Nachisomerisierung kann mit dem IBU-Rechner jedoch abgeschätzt werden. Dazu wird die Nachisomerisierungszeit zur Würzekochzeit jeder Hopfengabe hinzugerechnet, allerdings entsprechend ihrer Dauer und der Geschwindigkeit der Abkühlung der Würze mit einem niedrigeren Wert gegenüber der regulären Kochzeit. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Geschwindigkeit der Isomerisierung alle 10°C unter 100°C halbiert. Diese Abhängigkeit kann mit einem Faktor ausgedrückt werden, welcher bei 100°C daher 1.0, bei 90°C 0.5 und bei 80°C 0.25 usw. entspricht. Über eine Regression kann er rechnerisch auch wie folgt ermittelt werden:

Gleichung 2: Isomerisierungsgeschwindigkeitsfaktor = $0.001 \times e^{0.069 \times \text{Temperatur}}$

Mit der Nachisomerisierungszeit multipliziert ergibt dieser Wert die Effektive Kochzeit während der Nachisomerisierung. Bei einer Nachisomerisierung von 30 min und einer Temperatur von 90°C , entspricht die Zeit der Nachisomerisierung effektiv einer Kochzeit von nur 15 min (Effektive Kochzeit = $30 \text{ min} \times 0.001 \times e^{0.069 \times 90} = 15 \text{ min}$). In der Realität läuft die Nachisomerisierung allerdings nicht bei einer konstanten Temperatur ab. Die Würze kühlt sich in der Nachisomerisierungszeit ausgehend von ca. 100°C kontinuierlich ab. In dieser Abkühlungsphase verringert sich natürlich der Isomerisierungsgeschwindigkeitsfaktor permanent. Messen wir die Temperatur am Ende der Nachisomerisierungszeit, können wir den Isomerisierungsgeschwindigkeitsfaktor allerdings über den Temperaturbereich der Nachisomerisierung (100°C bis Temperatur am Ende der Nachisomerisierung) integrieren:

Gleichung 3: Integrierter Isomerisierungsgeschwindigkeitsfaktor = $0.046 e^{(0.031 \times \text{Temperatur am Ende der Nachisomerisierung})}$.

Dieser Integrierte Isomerisierungsgeschwindigkeitsfaktor ist dann der Wert, welcher mit der Nachisomerisierungszeit multipliziert die Zeit ergibt, welche im IBU-Rechner zur regulären Kochzeit hinzugerechnet wird. So werden z.B. bei einer Nachisomerisierungszeit von 30 min, während der die Würze auf 80°C abkühlt (errechneter Integrierter Isomerisierungsgeschwindigkeitsfaktor = 0.53), zu jeder Hopfengabe 16 min (30 min x 0.53 = 16 min) zusätzliche Kochzeit hinzugerechnet.

Wer die Tinseth-Formel weder hinsichtlich Hopfenform, Zeitpunkt der Hopfengabe (vor bzw. nach Würzebruch) oder Nachisomerisierung korrigieren möchte, der sollte bei jeder Hopfengabe das Häckchen bei "Gabe nach Würzebruch" wegeklicken, als Hopfenform "Dolden" wählen, sowie die Nachisomerisierungszeit auf 0 min setzen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass diese Korrekturen in aller Regel zu einem genaueren Ergebnis führen. Insbesondere bei reichlichen Hopfengaben gegen Kochende, d.h. wenn der Hopfen noch nicht "ausgelutscht" ist, hat die Nachisomerisierung einen enormen Einfluss auf die Gesamtbittere.

Obwohl die Konzentration an iso- α -Säuren im Bier eine objektive Größe darstellt, kann die tatsächlich wahrgenommene Bittere deutlich unterschiedlich ausfallen. Neben subjektiven Faktoren, hängt dies vor allem mit der Restsüße die das Bier der Bittere entgegenstellt zusammen. So kann ein Bier mit hohem Restzuckergehalt deutlich mehr Bittere vertragen als ein sehr schlankes Bier ohne tatsächlich bitterer zu schmecken. Bittere ist also relativ! Da der Restzuckergehalt sehr stark mit der Stammwürze korreliert und die Stammwürze für den Brauer eine einfach zu kontrollierende Größe darstellt, kann das Verhältnis aus iso- α -Säure-Konzentration (ausgedrückt als IBU) und der Stammwürze ungefähr den zu erwartenden Bittereindruck widerspiegeln. Je größer das Verhältnis, desto größer wird die wahrgenommene Bittere ausfallen. Ein Verhältnis von ungefähr 2 (z.B. 24 IBU zu 12°P Stammwürze) gilt als ausgewogen. In die gleiche Kerbe haut auch der Vergärungsgrad der Hefe. Je nach dem wieviel Restzucker nach der Gärung im Bier verbleibt wird die Bittere unterschiedlich stark wahrgenommen. Neben der Stammwürze/Restzucker spielen eine Reihe verschiedener im Bier gelöster Ionen eine bedeutende Rolle, wobei hier insbesondere Sulfat und Chlorid zu nennen sind. Sulfationen betonen die Bittere eines Bieres, wohingegen Chlorid den Malzkörper in den Vordergrund schiebt. Je nach Chlorid/Sulfat-Verhältnis können zwei Biere mit identischen IBUs unterschiedlich bitter schmecken.

Generell sollte man sich bei aller Theorie deshalb nicht über die Tatsache hinwegtäuschen, daß die errechneten Bitterwerte nur Schätzwerte sind. Vor allem die Hopfenausnutzung wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, die nur empirisch erfaßt werden können. Die Nachkommastelle für die errechneten Gesamt-IBU im IBU-Rechner braucht man daher nicht zu ernst nehmen. Tröstend in dieser Hinsicht ist jedoch der Umstand, daß der menschliche Gaumen Unterschiede in der Bitterkeit nur grob wahrnehmen kann (>5 IBU). Und selbst wenn die berechneten IBUs exakt stimmen, kann die wahrgenommene Bittere deutlich davon abweichen.