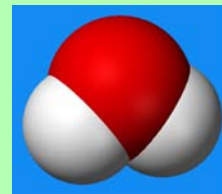




Bier-Bitterkeit = IBU ?

Objektive und subjektive Qualitäten sind für die Bitterkeit verantwortlich



BrauLabor
12.2
Physik/Chemie

Bitterkeit
IBU-Einheiten

Aufwand: klein	Material: kein	Zeit: gering	Experimenttyp: Berechnungen	Anspruch: gering
--------------------------	--------------------------	------------------------	---------------------------------------	----------------------------

I. Einführung

Die **Bitterstoffe** sind in den weiblichen Blüten oder Hopfendolden (syn. Hopfenzapfen) primär in den Hopfendrüsen *Lupuli glandula* (Drüsenhaare, Becherdrüsen, oder Lupulindrüsen am unteren Ende der Vorblätter) als Hopfenmehl, syn. Hopfenstaub, bzw. syn. Lupulin enthalten und können durch Abklopfen oder Schütteln der Hopfenzapfen gewonnen werden. Das harzartige Exkret darunter, das **Hopfenharz** gliedert sich in zwei Harzfraktionen, zu etwa 50–80 % in Hexan lösliches **Weichharz**, der Restanteil ist das hexanunlösliche Hartharz. Die Extraktion des Harzes liefert die kristallisierbaren, oxidationsempfindlichen Hopfenbittersäuren. Das Weichharz lässt sich weiter in α - und β -Weichharz unterteilen. Das α -Weichharz besteht vorrangig aus den **Humulonen** (α -Hopfenbittersäuren), hauptverantwortlich für den bitteren Geschmack. Die Menge der α -Säuren ist relativ variabel und hängt von Sorte, Provenienz, Jahrgang, dem Zeitpunkt der Ernte, der Behandlungsweise und dem Alter des Hopfens ab. Strukturell verwandt sind die Lupulone (β -Hopfenbittersäuren) im β -Weichharz, die aber nicht bitter sind (Abb. 1).

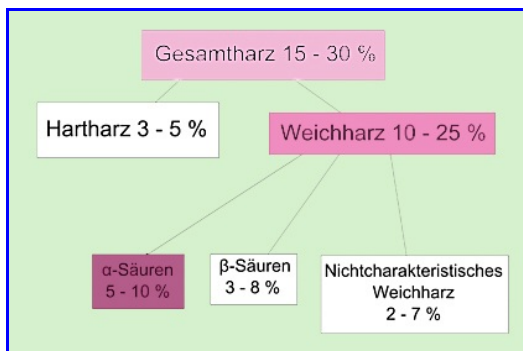


Abb. 1. Zusammensetzung Hopfenharz.

Als **Bierbitterstoffe** sind hauptsächlich die Alpha-Säuren (syn. Humulone, alpha-Lupulinsäure) verantwortlich.

Eigenschaften der Humulone (α -Hopfenbittersäuren):

- Zusammensetzung: Humulon, Cohumulon, Adhumulon ([Info](#))
- in Wasser/Würze praktisch unlöslich (pH-Wert 5.9: 480 mg/L, pH 5.0: 40 mg/L bei 25 °C, 60 mg/L bei 100 °C)
- beim Erhitzen > 80-90 °C: Isomerisation zu wasserlöslichen Iso-Alpha-säuren (Iso-Humulone)
- Isomerisation zu cis- und trans-Iso-Alpha-säuren, f(Kochdauer, Würzezusammensetzung - je höher gelöste Stoffkonzentration, desto geringere Löslichkeit), vgl. dazu Abb. 2. und Abb. 3 Hopfenutzung.
- nicht sehr lagerstabil: Veränderung des Aromas über die Lagerzeit ([Info](#))

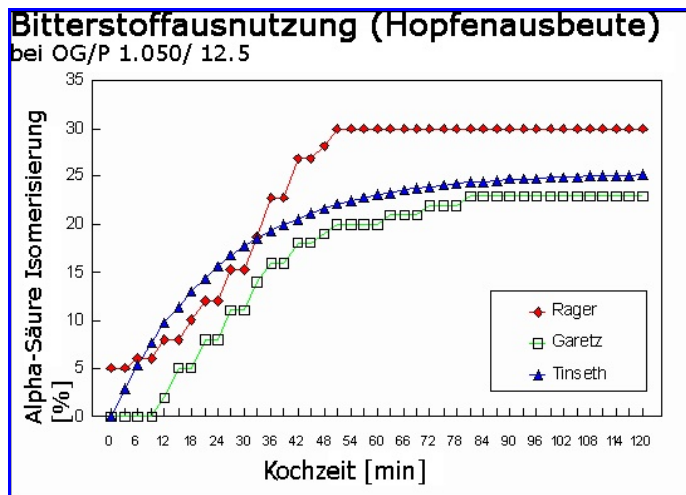
Die β -Hopfenbittersäuren der Lupulone ([Info](#)) isomerisieren auch, aber deren Bitterkraft beträgt nur ca. 1/9 der α -Hopfenbittersäuren. Die Hopfenöle mit ca. 0.5-2% Gewichtsprozent Anteil an den Hopfendolden gegenüber den Gesamtharzen mit 15-30% sind vor allem aromaktiv \rightarrow Hopfenaroma im Bier und Hopfenblume.

Zusätzliche zu beachtende Faktoren der Bier-Bitterkeit:

- Iso-Alpha-Säuren: intensiv bittere Stoffe, Hauptbitterstoffe im gehopften Bier
- normale ungekochte α - und β - Hopfenbittersäuren tragen nichts zur Bierbitterkeit hinzu
- oxidierte Alpha-Säuren: deutlich weniger bitter als oxidierte Beta-Säuren, aber in grösserer Konzentration vorhanden; bedeutsam in alten Bieren oder gealterten Hopfen
- oxidierte Beta-Säuren: bitterer als α -Säuren, aber in geringerer Konzentration als α -Säuren vorhanden; dominant in altem Hopfen
- Hopfen-Polyphenole und oxidierte Zerfallsprodukte tragen nur wenig zur Bitterkeit bei
- neben der Hauptbittere aus dem Hopfen gibt es noch weitere Bitteraromen im Bier: Gerbstoffbittere, Eiweissbittere und Hefebittere.

Die gesamte Gruppe der Hopfenbitterstoffe besitzt zudem weitere interessante Eigenschaften wie sedierende (milde beruhigend), antibiotische und estrogene Eigenschaften ("verweiblichende" Hormoneigenschaften).

Zur **Bestimmung der Bitterkeit** im Bier sind folgende Informationen notwendig:



1. die Bitterstoffausnutzung in Abhängigkeit von der Zeit
2. die Bitterstoffausnutzung in Abhängigkeit vom Extrakt-gehalt als OG bzw. °P (Abb. 2+3)
3. Angaben zu den Biertypen-abhängigen üblichen IBU-Werten (Abb. 4)
4. Angaben zum α-Säure-Gehalt der Hopfensorten (Abb. 5)
5. Berechnungsverfahren.

Abb. 2. **Hopfenausbeute** als Isomerisierung der Alpha-Säuren (nach 3 Autoren).

Die Bitterstoffausnutzung ist stark von der **Hopfenkochzeit** und dem Extraktgehalt der Würze abhängig (cf. auch Abb. 3).

[Quelle]

		Extraktgehalt [Gew.-%, bzw. P] und SL bzw. OG										
		2,0	4,0	5,0	8,0	10,0	12,0	15,0	18,0	20,0	25,0	30,0
SL 20/20		1.0078	1.0157	1.0197	1.0318	1.0400	1.0484	1.0611	1.0741	1.0830	1.1057	1.1292
Kochzeit [min]	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5	6,72	6,26	6,04	5,42	5,03	4,67	4,16	3,70	3,42	2,79	2,26
	10	12,22	11,38	10,98	9,85	9,15	8,49	7,57	6,73	6,22	5,07	4,10
	15	16,73	15,58	15,03	13,48	12,52	11,61	10,36	9,21	8,51	6,94	5,62
	20	20,41	19,02	18,35	16,45	15,28	14,17	12,64	11,24	10,39	8,47	6,86
	25	23,43	21,83	21,06	18,88	17,54	16,27	14,51	12,91	11,92	9,72	7,87
	30	25,91	24,13	23,28	20,88	19,39	17,99	16,04	14,27	13,18	10,75	8,70
	35	27,93	26,02	25,10	22,51	20,90	19,39	17,29	15,38	14,21	11,59	9,38
	40	29,59	27,56	26,59	23,84	22,14	20,54	18,32	16,30	15,05	12,28	9,94
	45	30,94	28,82	27,81	24,94	23,16	21,49	19,16	17,04	15,74	12,84	10,39
	50	32,05	29,86	28,81	25,83	23,99	22,26	19,85	17,66	16,31	13,30	10,77
	55	32,96	30,71	29,63	26,57	24,67	22,89	20,41	18,16	16,77	13,68	11,07
	60	33,71	31,40	30,29	27,17	25,23	23,41	20,87	18,57	17,15	13,99	11,32
70	34,82	32,43	31,29	28,06	26,06	24,17	21,56	19,18	17,71	14,45	11,69	
80	35,56	33,13	31,96	28,66	26,61	24,69	22,02	19,59	18,09	14,76	11,94	
90	36,06	33,59	32,41	29,06	26,99	25,04	22,33	19,86	18,34	14,96	12,11	
100	36,39	33,90	32,71	29,33	27,24	25,27	22,53	20,05	18,51	15,10	12,22	
110	36,62	34,11	32,91	29,51	27,40	25,42	22,67	20,17	18,63	15,19	12,30	
120	36,77	34,25	33,04	29,63	27,52	25,53	22,77	20,25	18,70	15,26	12,35	

Abb. 3. **Hopfenausbeute** (Ausbeutefaktor) in Abhängigkeit von Kochzeit und Würze-Extraktgehalt.

Gewichts-%: 2.0 - 30.0 ≡ °P
SL: spezifische Dichte = OG (engl. Original Gravity) bei 20 °C.

[Quelle: Brücklmeier, Bier Brauen, 2018, cf. [hier](#); sehr empfehlenswertes Buch] vgl. G.Tinseth "Glenn's [Hop Utilization Numbers](#)"

BIERSORTE	IBU	Export	20 - 26
Alt	35 - 50	Helles Ale	15 - 30
American IPA	40 - 70	Märzen	20 - 25
English IPA	40 - 60	Pils	25 - 45
Imperial IPA	60 - 110	Porter	20 - 40
Berliner Weiße	4 - 8	Stout	30 - 65
Bock	25 - 35	Weizen	10 - 20
Doppelbock	20 - 25	Schwarzbier	20 - 30
		Kölsch	20 - 30

Abb. 4. **Bitterkeit** bei verschiedenen Biertypen als Richtwerte für Hopfenzugabe [Quelle] siehe auch: [Info 1](#), [Info 2](#), [Info 3](#).




Abb. 5. Gute Infoquellen zur Hopfencharakterisierung allgemein und zu den Alpha-Säure-Gehalte in Hopfensorten. (auf Abb. klicken !!)

2. Die Abschätzung der Bittere in IBU-Bittereinheiten

Objektiv-analytische Bestimmung der Bitterkeit.

Die in der Brauindustrie verwendeten Verfahren zur unspezifischen und spezifischen Bestimmung der Hopfenbitterstoffe sind auf der MUG-Website im "Physikalisch-chemischen Labor" [hier](#) unter "3.12.2. IBU International Bitter Units" kurz skizziert.

Die **International Bitterness Units (IBU)**, ursprünglich EBU (European Bitterness Unit), ist eine von der der European Brewery Convention definierte Masseinheit (Bittereinheit BE) für den Gehalt an Iso- α -Hopfenbittersäuren: $1 \text{ IBU} = 1 \text{ mg Iso-}\alpha\text{-Säure/L}$. Doch wieviel "Bitterkeit" braucht nun ein bestimmter Bierstil, wieviel Bitterstoffe gelangen nun mit den Hopfengaben tatsächlich ins Bier und wie wird diese Bitterkeit empfunden? Mit den oben erwähnten Infoquellen lassen sich nun die zu erwartenden Bitterkeitswerte im Bier abschätzen.




Kernwissen für Braupraxis: Bitterkeit - IBU-Einheiten

Die Masseinheit IBU - International Bitterness Units - festgelegt von der europäischen Brauervereinigung (European Brewery Convention), gibt den Anteil von bittermachenden Alpha-Humulonsäuren in einem Bier an. Dabei gilt: $1 \text{ IBU} = 1 \text{ mg isomerisierte Alphasäure je Liter Bier}$. Die meisten Biere weisen IBU-Werte zwischen 10 und 100 IBU auf.

Der objektiv-analytisch erfassbare Bitterkeitsgrad der Hopfenbitterstoffe (Iso- α - und β -Hopfenbittersäuren und deren Isomere, in Hopfenprodukten, Bier, u.a.) wird durch Verfahren wie Konduktometrie, Spektrophotometrie und Hochleistungsflüssigkeitschromatographie) bestimmt. Der Heimbrauer kann basierend auf den publizierten hopfentypischen α -Säurewerten mittels rechnerischer Verfahren den biersorten-typischen Bitterkeitsgrad in IBU-Einheiten auf ca. $\pm 10\%$ iger Genauigkeit abschätzen.

Der subjektiv wahrgenommenen schmeckbaren Bitterkeit eines Bieres wird der objektive IBU-Wert nicht gerecht, spielt doch das Verhältnis von Bittereinheiten zur Stammwürze bzw. Restextrakt (Restsüsse) sowie das Hopfenaroma eine wesentliche Rolle.



Ziel der Bitterkeitsberechnung ist es nicht, die IBU-Bitterkeitswerte für den jeweiligen Bierstil auf die Dezimalstelle genau zu bestimmen, was ja infolge der zahlreichen Bitterkeitsfaktoren nicht möglich ist. Aber die Bandbreite von ca. $\pm 10\%$ Fehler sollte für den gewünschten Biertyp erreicht werden, um eine geschmackliche Unausgewogenheit zu verhindern (falsche Hopfung: zu hoch gehopft [bitter], zu schwach gehopft). Jedes neu ausgewählte unbekannte Rezept sollte dahin gehend überprüft werden, ob es ein Bier im erwarteten Geschmacksbereich ergibt.

Materialien

Glaswaren/Geräte/ andere Materialien	evtl. Taschenrechner bzw. Notebook mit Internetzugang
Verbrauchsmaterial	-
Chemikalien	-
Bier- Objekte	spezifische Hopfensorte(n), verschiedenste Braurezepte (aus Literatur, selbst kreierte)

3. Berechnungsverfahren zur Abschätzung der Bitterkeit

3.1. Berechnung der Hopfenbittere

Dieses einfache Berechnungsmethode bietet sich an, um z.B. ein Bierbraurezept in Bezug auf seine Konsistenz/Plausibilität mit der gewünschten Biersorte zu überprüfen.

1. Rezept beschaffen bzw. zusammenstellen betr. Mengenangaben:

- Bierbraurezept beschaffen, z.B. aus Literatur oder Internetquellen
 - > Rezepte aus Bücher: cf. Mug-Mikrobrauerei [hier](#) > Rezeptsammlungen.
 - > Internetquellen: cf. Mug-Mikrobrauerei [hier](#) > Braurezepte.

- benötige Informationen:

1. Bitterhopfengewicht [g] siehe: fremdes / eigenes Rezept
2. Alpha-Säure-Gehalt der spezifischen Hopfensorte [%] -> cf. Links Abb. 5
3. Hopfenausnutzung [%] -> cf. Abb. 3
4. Bierwürzevolumen [L] -> fremdes/ eigenes Rezept
4. INU-Bitterkeitswert für spezifische Biersorte [-] -> cf. Abb. 4, bzw. Infos

2. IBU-Berechnungsformel:

$$IBU = \frac{\text{Bitterhopfengewicht [g]} \times \% \text{ Alpha-Säure} \times \% \text{ Bitterstoff-Ausnutzung}}{\text{Bierwürzevolumen [L]} \times 10}$$

3. Berechnungsbeispiel:

$$IBU = \frac{40 \text{ [g]} \times 3 \times (25.04 - 0.9 = 24.14^*)}{20 \text{ [L]} \times 10} = 14$$

Kommentar:

* linear geschätzter Wert nach Abb. 3:

Kochzeit 90 min, 12 °P -> 25.04, 15 °P -> 22.33, Δ = 25.04 - 22.33 = 2.71, pro 1 °P Abnahme um ca. 0.9 % -> Ausbeute bei 13 °P: 25.04 - 0.9 = 24.14 %

Der berechnete Wert von 14 INU-Einheiten entspricht etwa dem "Normwert" des Rezeptes bzw. den Bitterkeitswerten gemäss Abb. 4 für Weizenbiere (10 - 20).

$$IBU = \frac{35 \text{ [g]} \times 7.6 \times (22.04^*)}{20 \text{ [L]} \times 10} = 29$$

Kommentar:

Die Abweichung "Rezeptwert" vom berechneten IBU-Wert beträgt 6 IBU-Einheiten. Durch eine etwas grössere Hopfenmenge oder geeigneter Hopfensorte mit leicht höherem Alpha-Säuregehalt könnte der "Normwert" erreicht werden.

- Hopfencode: 13 = Challenger (6.5-8.5%)
 4 = Nordbrauer (Hallertauer, 11%)
 8 = Hallertauer Magnum (11-16%)
 9 = Merkur (15.1%)



Abb. 6. Bieretikette mit INU-Bitterkeitsangabe und Stammwürzeangabe (35 -> vgl. Abb. 4 zur Biersorte Pils)

Helles Weizenbier	
Stammwürze:	13%
Bitterkeit:	13 EBU
Alkoholgehalt:	5,5%
Schüttung:	
Weizenmalz (60%):	3100 g
Pilsener Malz (34%):	1800 g
Karamellmalz hell (6%):	300 g
Hopfen / Kochzeit:	
'Tettnanger' (3%):	40 g / 90 min
Maischstufen:	53°C / 20 min 65°C / 60 min
Kochzeit:	90 min
Hefe:	obergärige Weißbierhefe, z.B. Wyeast 3068 oder 3056

Abb. 7. Bierrezept Weizenelfe (Helles Weizenbier, Rezept für 20 L)

[Quelle: Lehl, Bier brauen, Ulmer, 2008, S. 147]

Irisches Starkbier (Smithwick Art)	
obergärig	4500 g Wiener Malz
Stammwürze: 15,2%	850 g Maisflocken
Hopfenbittere: 35 EBU	190 g Farbmalz
Bierfarbe: 100 EBC	35 g Bitterhopfen (7,6% α)
Alkohol: 6,3 Vol. %	in einer Zugabe 10 Minuten nach Kochbeginn
Abfüllzeitpunkt: 4,4%	
1-stufiges Infusions-maischverfahren	► Einmaischen: bei 38°C und so 20 Min. halten ► 1. Rast: 90 Minuten bei 66°C ► Abmaischen bei 76°C ► Kochzeit: 90 Minuten
Extraktbrauweise (mit Kochen) - siehe Beschreibung -	
3000 g Gerstenmalzextrakt bernstein	☞ Hopfen: 13 // 4, 8, 9 ☞ Hefe: R // Q, P, H

Abb. 8. Bierrezept für Irisches Starkbier

[Quelle: Kling, Bier selbst gebraut, Die Werkstatt, 2015, S. 203]

3.2. Berechnung der Hopfenmenge für entsprechende Biersorte bzw. IBU-Wert

3.2.1. Vereinfachte Schätzmethode

Die IBU-Formel nach 3.1.2 kann nach der gesuchten Hopfenmenge aufgelöst werden, um für eine entsprechende Biersorte und Biermenge die korrekte Hopfenmenge bereit zu stellen.



$$\text{Hopfenmenge [g]} = \frac{\text{IBU} \times \text{Bierwürzevolumen [L]} \times 10}{\% \text{ Alpha-Säure} \times \% \text{ Bitterstoff-Ausnutzung}}$$

Berechnungsbeispiel:

Der Heimbrauer möchte 100 L eines belgischen Witbieres mit folgenden "Kennzahlen" brauen:

Schüttung 18 kg Château Pilsen, 5 kg Château Wheat Blanc; Stammwürze 11-12 %mas/mas, Bittere: 25-30 IBU.

Hopfensorten: Hopfensorte 1 - Magnum 15 nach Kochbeginn (bei 90 min Gesamtdauer), Hopfensorte 2 - Styrian Golding 85 min nach Kochbeginn.

Schritt 1: Infobeschaffung Hopfen (z.B. auch bei Internet-Hopfenhändlern wie [CH-Händler](#), [DE-Händler](#) erfolgen)

- Sorte 1 Magnum: z.B. Hallertauer Magnum 11.3% → Bitterhopfen

- Sorte 2 Styrian Golding 3.8% → Aromahopfen

Schritt 2: Berechnung

$$\text{Hopfenmenge 1 [g]} = \frac{25 \times 100 \text{ [L]} \times 10}{11.3 \times 25.4^*} = 87 \text{ g Magnum} \quad \text{Hopfenmenge 2 [g]} = \frac{2.5^{***} \times 100 \text{ [L]} \times 10}{3.8 \times 7.4^{**}} = 89 \text{ g Styrian G.}$$

* Mittelwert von Extraktgehalten 10 und 12 sowie Temperaturen 70 und 80 °C

** Mittelwert von Extraktgehalten 10 und 12 bei Temp. 5 °C

*** dieser Restbitterwertbeitrag vom Aromahopfen kann variabel gestaltet werden

3.2.2. Verfeinerte Abschätzung: Dosierung mehrfacher Hopfengaben - Bitter- und Aromahopfen

Folgende **Faktoren** müssen dabei berücksichtigt werden:

- **TAS:** Totale Alpha-Säuremenge [g] pro Gesamtbiermenge in Liter
- **IBU:** angestrebte Bittereinheiten (**I**nternational **B**itterness **U**nits, [mg/L]) im Bier (durch Bierbraurezept vorgegeben oder vom Brauer erwünscht)
- **AF:** Ausnutzung (Ausbeute-Faktor) als f(Extraktgehalt, Temperatur) in [%]: Tabellenwerte aus Abb. 3
- **AG:** rezeptbedingter oder Wunschanteil der Aromahopfen-Gabe in [%] - bezogen auf TA
- **ASA:** Alpha-Säure-Gehalt des Aromahopfens (Alphawert in [%])
- **BG:** rezeptbedingter oder Wunschanteil der Bitterhopfen-Gabe in [%] - bezogen auf TA
- **ASB:** Alpha-Säure-Gehalt des Bitterhopfens (Alphawert in [%])

Schritt 1: Berechnung der Alphasäuremenge **TAS** für 20 Liter

$$\text{TAS} = \frac{\text{IBU [mg/L]} \times 100^*}{1'000^{**} \text{ [mg/g]} \times \text{AF} [\%]} \times 20 \text{ [L]}$$

Beispiel:

Pils 20 L, 30 IBU, 40% Bitterhopfen (10%-ig), 60% Aromahopfen (4%-ig) → ? Gramm von jeder Hopfensorte ?

* Umrechnung AF-% in Absolutwert: z.B. 27% : 100 = 0.27

** Umrechnung mg in g: z.B. IBU 30 mg/L : 1'000 = 0.03 g/L

$$\frac{\text{IBU } 30 \text{ [mg/L]} \times 100^*}{1'000^{**} \text{ [mg/g]} \times \text{AF } 25 \text{ [\%]}} \times 20 \text{ [L]} = 2.4 \text{ g Gesamtmenge } \alpha\text{-Säuren in 20 L}$$

Schritt 2: Berechnung des Bitterhopfenanteils BG für 20 Liter

$$BG = \frac{TAS [g] \times BG [\%] \times 100}{ASB [\%] \times 100}$$

$$\frac{TAS 2.4 [g] \times BG (40 \%) \times 100}{ASB (10 \%) \times 100} = 9.6 \text{ g Bitterhopfen für 20 Liter}$$

**Schritt 3: Berechnung des Aromahopfenanteils AG für 20 Liter**

$$AG = \frac{TAS [g] \times AG [\%] \times 100}{ASA [\%] \times 100}$$

$$\frac{TAS 2.4 [g] \times AG (60 \%) \times 100}{ASA (4 \%) \times 100} = 36 \text{ g Aromahopfen für 20 Liter}$$

Hinweis: Mit dieser Methode können nicht nur doppelte, sondern auch mehrfache Hopfengaben > 2 berechnet werden.

3.2.3. Die bequeme Methode: Hopfengabe-Abschätzung mit dem "IBU-Rechner nach Tinseth" sowie dem "Mehrfachansatzrechner"

Die oben besprochenen Berechnungsformeln sind grobe Abschätzungen zur Bestimmung des Bitterkeitsgrades, die letztlich von zu vielen Parametern abhängen, als man alle in einer Gesamtgleichung erfassen könnte. Nur schon beim Schlüsselparameter der Hopfenausbeute in Abhängigkeit von Extraktgehalt und Kochzeit gibt es verschiedene Wertetabellen, z.B. von Rager ([Info](#)), Garetz ([Info](#)), Tinseth ([Info](#)) und weitere (cf. [hier](#)). Daher existieren verschiedenste IBU-Rechner, die gebräuchlichsten sind von

- Tinseth → siehe "Glenn Tinseth's Equation" [hier](#) und ausführlicher unten
- Rager → siehe "Jackie Rager's Equation" [hier](#) und deutsch hier "[Müggelland-Rechner](#)" (anwählen in 5. Kolonne "Berechnungsverfahren Bittere")
- Garetz → siehe [hier](#) (anwählen in 5. Kolonne "Berechnungsverfahren Bittere")
- Daniels → siehe [hier](#) (Zusatz-[Info](#))

$$20 \text{ L} = 5.28 \text{ Gal}$$

$$\text{Umrechnungsfaktoren: } 1 \text{ US-Gallone (Gal)} = 3.785 \text{ L} \quad \text{Umrechner}$$

I. "MaischeMalzundMehr-Rechner (MMM): Der häufigst gewählte Ansatz ist die IBU-Berechnungsformel nach Tinseth. Eine gute Erklärung dazu liefert der differenzierte "MaischeMalzundMehr" Rechner (Abb. 9). Die benötigten Parameter sind:

- Stammwürze [$^{\circ}\text{P}$] oder [Brix]
- Kochzeit [min]
- Volumen [L]
- Nachisomerisierungszeit (Zeit zw. Kochende und Whirlpool) [min]
- Temperatur am Ende der Nachisomerisierungszeit [$^{\circ}\text{C}$]
- Hopfeninformationen: Form (Pellet, Dolde), Menge [g], Alphawert [%], Kochzeit [min].

Dieser Rechner wird mit fundierten Erläuterungen präsentiert (cf. [hier](#)). Ein weiterer Vorteil dieses Rechners ist es, dass die objektive IBU-Bitterkeit mit dem subjektiv wahrgenommenen via Alphawertverhältnis zur Stammwürze (vgl. Abb. 10) miteinbezogen wird.

Dieser einfach zu bedienende Rechner eignet sich auch für gelegentliche Heimbrauer ohne grosse eigene Erfahrungsbasis mit Hopfen. Ein weiterer ausgeklügelter Ansatz ist der Müggelland-Rechner "Berechnung der Hopfenausnutzung" (cf. auch tolle Website [Müggelland-Brauerei](#)). Dieser Hopfenrechner berechnet sowohl die Bittere als auch das Aroma, das aus verschiedenen Hopfengaben entsteht (Abb. 11).

Abb. 9. Der "MaischeMalzundMehr"-IBU-Rechner nach Tinseth ist eine elaborierte Ausgabe mit 9 die Bitterkeit beeinflussenden Isomerisierungs-Parametern. [Quelle](#)

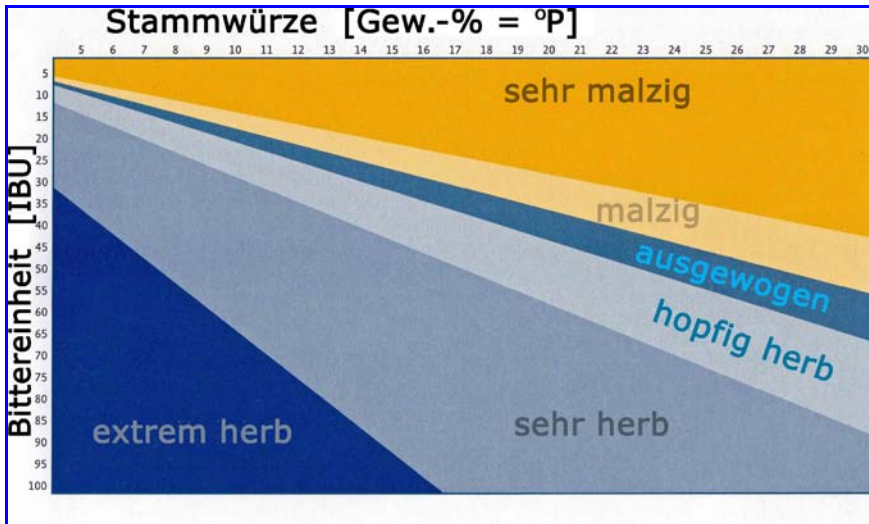


Abb. 10. Wahrnehmung Bierbittere. Das Verhältnis Bittereinheiten zur Stammwürze beeinflusst den subjektiv wahrnehmbaren Bitterkeitscharakter eines Bieres.

Lesehilfe: eine Bittere von z.B. 40 IBU wird in einem malzhaltigen Bier von 15 °P als hopfig herb empfunden, mit einer Stammwürze von 10 °P als sehr herb [Quelle: [Brücklmeier](#), S. 42]

Der Quotient von Bittereinheiten zur Stammwürze soll am ehesten die Wahrnehmung des Bittereindrucks wiedergeben:

Bittereindruck = Bittereinheiten [INU] / Stammwürze [°P] → entspricht eher dem subjektiven Eindruck als die IBU-Werte. Richtwerte:

- 0-1.5 sehr malzig Bsp. Bockbier ([Info](#))
- 1.5-2.0 malzig Bsp. Märzenbier ([Info](#))
- 2.0-2.2 mild-ausgewogen Bsp. Kölsch ([Info](#))
- 2.2-3.0 herb Bsp. Porter ([Info](#))
- 3.0-6.0 sehr herb Bsp. Altbier ([Info](#)), Pale Ale ([Info](#))
- > 6 extrem herb ("Hopfenbomben") Bsp. Imperial IPA (= Double IPA, [Info](#)).

2. "Müggelland-Brauerei Rechner (MLB): Der häufigst Ein weiterer, sehr differenzierter IBU-Rechner ist das Berechnungsverfahren der Müggelland-Brauerei:

Dieser Hopfenrechner berechnet den IBU-Bitterwert sowie das Aroma als Bittere-Eindruck und Aroma-Eindruck. Es kann für jede Hopfengabe eine Hopfensorte ausgewählt werden. Mit + können zusätzliche Hopfengaben mitberechnet werden. Das Berechnungsverfahren kann ebenfalls gewählt werden (Tinseth, Garetz, Rager).

Eine ausführliche Anleitung ist auf der Website zu finden.

Abb. 11. IBU-Hopfenausbeute-Rechner der Müggelland-Brauerei.

Folgende Parameter können eingesetzt werden: 1. Ausschlagvolumen [L], 2. Kochvolumen [L], 3. Stammwürze [°P], 4. Nachlaufzeit = Zeit, bis Abkühlung auf 90 °C [min], 5. Berechnungsverfahren, 6. Bittere: Berechnungsverfahren (fest), 7. Aroma Hopfungsschema, 8. Hopfeninformationen: Menge [g], Hopfensorte, Gehalt: α-Säurewert [%] - Aromaöl [%], Hopfenform (Pellets, Dolden, Nutzung (z.B. Kochen, Whirlpool, Stopfen u.a.), Kochzeit [min], Ausnutzung: α-Säurewert [%] - Aromaöl [%], Bittere: Wert [IBU] - Anteil [%] - Aromaöl [mg/L] .

3. "StraightToThePint-Rechner": Als letztes Rechner wird ein US-Mischrechner vorgestellt, der 4 verschiedene Berechnungsansätze durchrechnet (IBU-Formeln nach 1. Tinseth, 2. Rager, 3. Garetz, 4. Daniels und dann den Durchschnitt aller Einzelwerte als Endresultat anzeigt ([Info](#)).



Abb. 12. Der STTP-IBU-Mischrechner (StraightToThePint). Besonderheit: Der angezeigte Endwert entspricht dem Mittelwert aus den 4 Berechnungsgrundlagen.

Dieser US-Rechner benötigt US-Massangaben: Gallonen und Original Gravity (OG)-Werte. Umrechner Liter \leftrightarrow Gallonen [hier](#), Umrechner Stammwürze $^{\circ}\text{P}$ \leftrightarrow OG [hier](#).

Benötigte Parameter: 1. Pre-Boil-Size Ausschlagvolumen, 2. Final Batch Volumen Endvolumen der Anstellwürze, 3. Original Gravity Stammwürze als spezifische Dichte [-], 4. Ounces Mengen [1 Ounce = 28.35 g, Umrechner oz \leftrightarrow g [hier](#)], 5. Alphasäurewert [%], Boil Time Kochzeit [min], Type Hopfungabe als Pellet oder Dolden.

3.2.4. Verschiedene Rechner im Vergleich

Bsp. 1: mit Daten cf. S. 5 oben - Berechnungsbeispiel "Belgisches Witbier" - 100 L/26.4 gal, Stammwürze 11.5 $^{\circ}\text{P}$ /OG 1.046, Kochzeit 90 min, 87 g/3.07 oz, 11.3%, 75 min, 89 g/3.14 oz, 3.8%, 5 min. IBU-Sollwert 25-30.

1. Rechner (MMM): $27.2 * + 3.1 * = 30.3$ IBU *jede Hopfensorte muss einzeln berechnet werden

2. Rechner (MLB): Tinseth 30.4 IBU, Rager 36.9 IBU

3. Rechner (STTP): Tinseth 29.07 IBU, Garetz 19.18 IBU, Rager 33.33 IBU, Daniels 26.42 IBU \rightarrow Durchschnittswert = 27.00 IBU

Faustregel Genauigkeit: $\pm 10\%$ \rightarrow mit Ausnahme von Rager und Garetz liegen alle innerhalb der Streuung von 10%. Der IBU-Sollwert liegt zw. 25-30.

Bsp. 2: mit Daten cf. S. 5 unten - Berechnungsbeispiel "Pils" - 20 L/5.28 gal, Stammwürze 12 $^{\circ}\text{P}$ /OG 1.048, 9.6 g/0.34 oz, 10%, 36 g/1.30 oz, 4%. IBU-Sollwert 30. Angabe einer Kochzeit fehlt \rightarrow muss rechnerisch durch Variation der Kochzeit ermittelt werden, bis IBU-Sollwert als Summe beider Hopfungaben erreicht wird.

1. Rechner (MMM): 85 min und 30 min $\rightarrow 13.2 + 17 = 30$ IBU.

2. Rechner (MLB): Tinseth 75 min + 40 min $\rightarrow 29.8$ IBU; Rager 75 min + 25 min $\rightarrow 30$ IBU;

3. Rechner (STTP): 90 + 70 min \rightarrow Tinseth 31.44, Garetz 22.78, Rager 36.74, Daniels 28.58 \rightarrow Durchschnittswert = 29.89 IBU

Kommentar: bei einer solchen Fragestellung ist Rechner MLB am einfachsten zu bedienen.

Bsp. 3: Bierrezept "Doppelbock" von Horst Dornbusch, [Die Biersorten der Brauwelt](#) (2014, S. 79): 20 L/5.28 gal, Stammwürze 23%/OG 1.096, Hopfen: Taurus 8 g/0.28 oz, 14.5%, 60 min; Tradition 11g/0.39 oz, 5.5%, 15 min; Smaragd 7 g, 5%, 5 min; Kochzeit 90 min. IBU-Sollwert: 23.

1. Rechner (MMM): $11 + 3 + 1 = 15$ IBU.

2. Rechner (MLB): Tinseth 14.4 IBU, Rager 20.3 IBU

3. (STTP): Tinseth 12.68, Garetz 12.69, Rager 17.83, Daniels 11.69 \rightarrow Durchschnittswert = 13.77 IBU

Kommentar: Die Abweichung vom IBU-Sollwert ist markant, einzig Rager ist nahe dran. Ursache: Rager wird für höhere Stammwürzen empfohlen!

Gesamtfazit: Die Rechner liefern in etwa ähnliche Resultate unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die berechneten Werte ja nur Annäherungen an die vielschichtige Bitterkeit sein können. Empfehlungen: 1. Für normale Bitterkeitsberechnungen ist der MLB-Rechner sehr komfortabel für die Dateneingabe, auch mit mehreren Hopfensorten. 2. Bei sehr hohen Stammwürzen ist der Rechner nach Rager sinnvoll. 3. Die beste Vorgehensweise ist - bei einem neuen Rezept - zuerst die Bitterkeit zu berechnen, nach dem Brauen das fertige Bier auf den Bitter- und Aromaeindruck zu testen und dann, falls notwendig, wieder rechnerisch durch Verschieben der Bitter- und Aromahopfen die Hopfung zu optimieren.

