

# Das neue internationale Einheiten- system (SI) in Naturwissenschaft und Technik

The international system of units (SI) in natural science and technology

Von Hans Walter \*)

## 1. Vorbemerkungen

Die immer stärker sich herausbildende Verflechtung der nationalen Wirtschaften verlangt dringend nach einem international gültigen Einheitensystem im Meßwesen, das für alle Bereiche der Volkswirtschaft – Wissenschaft, Technik, Handel, Verkehr usw. – Gültigkeit hat. Um den Meßwesen eine international einheitliche Grundlage zu geben, hat die 10. Generalkonferenz für Maß und Gewicht 1954 sechs Basiseinheiten vorgeschlagen, auf denen sich das neue internationale Einheitensystem aufbauen soll. 1960 hat die Generalkonferenz in Paris das neue internationale Einheitensystem beschlossen. Es erhielt den Namen "Système International d'Unités" mit dem international verbindlichen Kurzzeichen "SI".

Die gesetzliche Grundlage für das neue Einheiten-System in der Bundesrepublik Deutschland bildeten das „Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ vom 2. Juli 1969 und dessen „Ausführungsverordnung“ vom 26. Juni 1970, in denen das neue internationale Einheiten-System für verbindlich erklärt wurde. Gleichzeitig wurden die Übergangsfristen festgelegt, die mit dem Ende des Jahres 1977 ablaufen. Ab 1. 1. 1978 sind im amtlichen und geschäftlichen Verkehr nur noch die in diesem Gesetz festgelegten Einheiten – Basiseinheiten und abgeleitete Einheiten – verbindlich vorgeschrieben.

Fast alle bedeutenden Industrienationen der Welt, auch diejenigen, die bisher kein metrisches System besaßen, haben sich – mit Ausnahme der USA – dieser Konvention angeschlossen. Aber auch zahlreiche amerikanische Firmen benutzen schon die neuen SI-Einheiten oder sind in der Umstellung begriffen. Deutsche Großfirmen erstellen seit 1970 ihre neuen Unterlagen nur noch mit den gesetzlichen Einheiten.

---

\*) Prof. Dr. Hans Walter, Hochschullehrer für Landtechnik und Technologie an der Gesamthochschule Kassel, Organisationseinheit Internationale Agrarwirtschaft, Witzenhausen

**Anschrift:** D 3430 Witzenhausen 1, Steinstraße 19

Für das internationale Einheitensystem wird auf den Gebieten z. B. der Technik, wo das „Technische Maßsystem“ verwendet wurde, ein beträchtlicher Umstellungsaufwand erforderlich, weil u. a. die Kräfteinheit Kilopond und die Wärmeeinheit Kilokalorie entfallen und für sie die von den Basiseinheiten abgeleiteten Einheiten Newton und Joule treten.

In den Schulen wird zumeist heute schon auch nach dem Internationalen Einheitensystem unterrichtet, entsprechende Lehrbücher liegen teilweise auch im angelsächsischen Bereich bereits vor. Trotzdem bereitet besonders den in der Praxis Stehenden die Anwendung der SI-Einheiten Schwierigkeiten, da ihnen vornehmlich auf dem Gebiet der Mechanik und der Wärmelehre ein Gefühl für den Inhalt der neuen abgeleiteten Einheiten noch zuwachsen muß. Das kann am besten anhand praktischer Berechnungsbeispiele erfolgen. Der vorliegende Artikel kann in der gebotenen Kürze hierzu nur eine Einführung geben.

## 2. Basisgrößen und Basiseinheiten

### 2.1 Übersicht über die Basisgrößen und Basiseinheiten des SI

Das Internationale Einheitensystem (im Folgenden SI genannt) besteht aus sieben Basisgrößen mit den zugehörigen „Basiseinheiten“ (Tabelle 1) und den hiervon „abgeleiteten“ SI-Einheiten mit oft eigenen Einheitenamen und Einheitenzeichen.

Tabelle 1: SI-Basiseinheiten

Basisgröße Name	Kurzzeichen	Basiseinheit Name	Einheitenzeichen
1. Länge	l	Meter	m
2. Masse	m	Kilogramm	kg
3. Zeit	t	Sekunde	s
4. Elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
5. Temperatur (thermodynamisch)	T	Kelvin	K
6. Stoffmenge	c	Mol	mol
7. Lichtstärke	I	Candela	cd

In der Mechanik werden zur Messung nur die drei ersten Einheiten benötigt, die mit ihren abgeleiteten Einheiten dem alten MKS-System entsprechen. Die ersten vier Basiseinheiten genügen elektrischen Messungen, für thermodynamische Messungen kommt das Kelvin und für die optischen die Candela hinzu.

Das SI ist im Gegensatz zum entfallenden Technischen Maßsystem ein „kohärentes“ (zusammenhängendes) Einheitensystem, weil die aus Basiseinheiten kohärent abgeleiteten Einheiten oder Größen den Zahlenfaktor 1 besitzen müssen. Die Zahlenwerte von Größen ändern sich also nicht, wenn man von einer Einheit in die vergleichbare andere übergeht:

z. B. 1 Nm (Newtonmeter) = 1 J (Joule) = 1 Ws (Wattsekunde)

Ab 1. 1. 1978 entfallen zahlreiche nicht kohärente Einheiten wie z. B. Kilopond (kp), Kilokalorie (kcal), technische Atmosphäre (at), physikalische Atmosphäre (atm), Meter Wassersäule (m WS).

## 2.2 Dezimale Vorsätze für Einheiten

Zur Bezeichnung von dezimalen Vielfachen und dezimalen Teilen von Einheiten werden Vorsätze verwendet. Sie erhöhen die Anschaulichkeit und ergeben Zahlenwerte, die sich leichter erfassen lassen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Dezimale Vorsätze für Einheiten (gekürzt)

Vorsatz	Vorsatzzeichen	Faktor, mit dem die Einheit zu multiplizieren ist			
Mega-	M	1 000 000	=	$10^6$	
Kilo-	k	1 000	=	$10^3$	
Hekto-	h	100	=	$10^2$	
Deka-	da	10	=	$10^1$	
Dezi-	d	0,1	=	$10^{-1}$	
Zenti-	c	0,01	=	$10^{-2}$	
Milli-	m	0,001	=	$10^{-3}$	
Mikro-	$\mu$ (griech. Mü)	0,000 001	=	$10^{-6}$	

Es darf nur ein Vorsatz benutzt werden. Potenzexponenten beziehen sich immer auf das ganze Kurzzeichen und nicht nur auf das zuletzt stehende Kurzzeichen für die Einheit.

Beispiel:  $1 \text{ km}^2 = 1 (\text{km})^2 = 1 \text{ km} \times 1 \text{ km} = 10^6 \text{ m}^2$

Falsch wäre:  $1 \text{ km}^2 = 1 \text{ k} \times \text{m}^2 = 10^3 \text{ m}^2$

## 2.3 Die Masse m

Die Einführung der Masse m als Basisgröße in das SI hat weitreichende Folgen, weil damit die Kraft und alle von ihr abgeleiteten Einheiten und Größen des Technischen Maßsystems wie Druck, Arbeit und Leistung neu definiert werden müssen. Diese Umstellung greift auch in den täglichen Sprachgebrauch ein.

Die Basiseinheit 1 Kilogramm (kg) ist wie bisher die Masse des internationalen Kilogrammprototyps (Platin-Iridium-Zylinder, aufbewahrt in Sèvres). Die Masse eines Körpers wird durch Vergleich mit geeichten Gewichtsstücken in g, kg, t auf der Balkenwaage festgestellt. Hier ist die Erdanziehung auf beiden Seiten der Waage gleich groß. Die Masse ist also vom Ort des Vergleichs unabhängig, was bei Bestimmung mit der Federwaage nicht der Fall wäre. Wiegen bedeutet also Massenvergleich, das Wäageergebnis ist ein Maß für die Stoffmenge eines Körpers.

Die Ausführungsverordnung zum Einheitengesetz schreibt für Wäageergebnisse die Basisgröße Masse vor, läßt aber für den Handel auch die Bezeichnung „Gewicht“ zu. Masseneinheiten gelten ebenfalls für Tragfähigkeiten und Belastungen.

Beispiel: Die Masse eines Schleppers beträgt = 2 400 kg  
die Tragfähigkeit eines Anhängers beträgt = 5 000 kg = 5 t  
die Streumenge Dünger je ha beträgt = 400 kg/ha = 4 dt/ha

1 kg = 1 000 g =  $10^3$  g

1 dt = 100 kg =  $10^2$  kg

1 t = 1 000 kg = 10 dt =  $10^3$  kg

## 2.4 Die Temperatur T

Als SI-Basisgröße wurde die thermodynamische Temperatur oder „Kelvin-Temperatur“ festgelegt. Die zugehörige SI-Basiseinheit ist das „Kelvin“ mit dem Kurzzeichen K – nicht °K. Die Kelvin-Temperatur zählt vom absoluten Nullpunkt 0 K aus und beträgt beim Tripelpunkt des Wassers (Schnittpunkt der Gleichgewichtskurven Eis, Wasser, Dampf) 273,16 K  $\approx$  273 K.

Daneben ist auch die Einheit „Grad Celsius“ (°C) zugelassen, da °C und K gleichgroße Einheiten sind; es entspricht also 1 K = 1°C. Die Temperatur von 0°C entspricht der Kelvin-Temperatur von 273 K.

Angaben in beiden Einheiten sind also nicht gegeneinander austauschbar. Eine Temperaturdifferenz von 40°C entspricht wohl 40 K. Die Temperaturangabe von 40°C entspricht aber einer Kelvin-Temperatur von  $T = T_0 + 40 = 273 + 40 = 313$  K ( $T_0 = 273$  K). Der Siedepunkt des Wassers von 100°C liegt demnach bei  $T = 273 + 100 = 373$  K.

Die Kelvin-Temperatur hat das Formelzeichen T bzw.  $\Theta$  (griech. groß Theta) und die Celsius-Temperatur das Formelzeichen t bzw.  $\theta$  (griech. klein Theta).

## 2.5 Weitere Basiseinheiten

Die Skalenwerte für die noch nicht genannten Basiseinheiten Meter, Sekunde, Ampere, Mol und Candela sind unverändert geblieben, sie wurden lediglich teilweise neu definiert. Erwähnenswert ist, daß neben der Längeneinheit Meter für die Seefahrt auch die folgenden nicht kohärenten Einheiten weiterhin gelten:

1 sm (Seemeile) = 1 852 m

1 kn (Knoten) Fahrgeschwindigkeit = 1 sm/h.

## 3. Abgeleitete Größen und ihre Einheiten des SI

Abgeleitete Größen und Einheiten entstehen aus den vorgenannten Basisgrößen durch Einheitengleichungen. Eine Reihe von ihnen hat eigene Einheitenamen und Einheitenzeichen (Tabelle 3).

Im Folgenden werden einige wichtige abgeleitete Einheiten aus der Mechanik und der Wärmelehre besprochen (Tabelle 4).

### 3.1 Kraft oder Gewichtskraft F

Die physikalische Größe Kraft ist eine über das dynamische Grundgesetz abgeleitete Größe:

$$\text{Kraft } F = \text{Masse } m \times \text{Beschleunigung } a \quad (1)$$

Tabelle 3: Abgeleitete SI-Einheiten mit eigenen Einheitenennamen (Auswahl)

Größe	Einheiten		Beziehung
	Name	Kurzzeichen	
Kraft	Newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$
Druck	Pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
Energie, Arbeit Wärmemenge	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$
Leistung, Energiestrom, Wärmestrom	Watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
El. Spannung	Volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$
El. Widerstand	Ohm	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
El. Kapazität	Farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ A s/V}$
Frequenz	Hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$
Beleuchtungs- stärke	Lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$

Die Krafteinheit Newton <sup>1)</sup> N ist die Kraft, die der Masse 1 kg die Beschleunigung  $1 \text{ m/s}^2$  erteilt.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ m kg/s}^2$$

Das Newton ist also eine „kohärent“ abgeleitete Krafteinheit.

Die nur noch bis zum 31. 12. 1977 zu verwendende Krafteinheit Kilopond (kp) des technischen Maßsystems ruft bei der Masse  $m = 1 \text{ kg}$  die Beschleunigung  $a = g = 9,81 \text{ m/s}^2$  (Erdbeschleunigung) hervor.

$$\text{Es ist also } 1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N} \approx 10 \text{ N}; 1 \text{ N} = 0,102 \text{ kp} \approx 0,1 \text{ kp}$$

Bei genauen Umrechnungen benutzt man den Zahlenfaktor 9,81; kann ein Fehler von ca. 2% hingenommen werden – was im technischen Bereich meistens der Fall ist – den Faktor 10.

Weil 1 N eine verhältnismäßig kleine Kraft ist, werden Vorsätze verwendet (Tabelle 2), z. B.:

$$1 \text{ daN} = 10 \text{ N} = 1,02 \text{ kp} \approx 1 \text{ kp}$$

$$1 \text{ kN} = 1000 \text{ N} = 102 \text{ kp} \approx 100 \text{ kp}$$

**Rechenbeispiel:** Ein Körper aus Stahl (Dichte  $\rho = 7,8 \text{ kg/dm}^3$ ) hat ein Volumen von  $V = 6 \text{ dm}^3$ .

Wie groß sind a) die Masse (Gewicht)  $m$  und  
b) die Gewichtskraft des Körpers  $F$ ?

zu a) Masse  $m =$  Gewicht  
 $m = V \times \rho = 6 \text{ dm}^3 \times 7,8 \text{ kg/dm}^3$

$$\text{Masse } m = 46,8 \text{ kg}$$

zu b)  $F = m \times g$  bzw.  $F = V \times \rho \times g$  nach Gl. (1)  
 $F = 46,8 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2$  (Erdbeschleunigung  $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ )

<sup>1)</sup> Isaak Newton, 1643—1727, bedeutender englischer Naturforscher

**Gewichtskraft  $F = 468 \text{ kg m/s}^2 = 468 \text{ N}$**

Umrechnung in kp:  $F = 468 \text{ N} : 10 \text{ N/kp} = 46,8 \text{ kp}$

### 3.2 Druck $p$ und mechanische Spannung

Druck (Spannung) gibt an, wie groß die Kraft ist, die senkrecht auf eine Fläche einwirkt.

$$\text{Druck } p = \frac{\text{Kraft } F}{\text{Fläche } A} \quad (2)$$

Die Einheit des Druckes ist das Pascal (Pa). 1 Pascal ist der Druck, der durch die Kraft 1 N auf die Fläche 1 m<sup>2</sup> ausgeübt wird.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg} \times \text{m/m}^2 \times \text{s}^2 = 1 \text{ kg/m} \times \text{s}^2$$

Da 1 Pa eine relativ kleine Einheit darstellt, wurde die größere Druckeinheit, das „Bar“, eingeführt (Einheitszeichen: bar).

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

häufiger gebraucht wird:

$$\begin{aligned} 1 \text{ bar} &= 10 \text{ N/cm}^2 = 1 \text{ daN/cm}^2 \\ &= 1,02 \text{ kp/cm}^2 \approx 1 \text{ kp/cm}^2 \approx 1 \text{ at} \end{aligned}$$

Ab 1. 1. 1978 entfallen die Einheiten kp/cm<sup>2</sup>, atm, Torr, mm Hg, m WS, außerdem ata, atü, atu.

Für die Umrechnung gilt:

$$1 \text{ Techn. Atmosphäre (at) in kp/cm}^2:$$

$$1 \text{ at} = 10 \text{ m WS} = 735,5 \text{ mm Hg}$$

$$= 0,981 \text{ bar} \approx 1 \text{ bar}$$

**Rechenbeispiel:** Der Verbrennungsdruck im Dieselmotor beträgt  $p = 17 \text{ bar} = 170 \text{ N/cm}^2$  bei einer Kolbenfläche von  $A = 62 \text{ cm}^2$ . Wie groß ist die bei diesem Druck auftretende Kolbenkraft  $F$  in N und daN?

Nach Gleichung (2) ist:  $p = \frac{F}{A}$ ; es folgt:

$$F = A \times p = 62 \text{ cm}^2 \times 170 \text{ N/cm}^2$$

$$\text{Kolbenkraft } F = 10\,540 \text{ N} = 1\,054 \text{ daN}$$

### 3.3 Arbeit $W$ , Energie $E$ , Wärmemenge $Q$

Energie ist das Vermögen, Arbeit zu verrichten. Arbeit  $W$  wird verrichtet, wenn eine Kraft  $F$  längs eines Weges  $s$  wirkt.

$$\text{Arbeit } W = \text{Kraft } F \times \text{Weg } s \quad (3)$$

Seit Robert Mayer (mechan. Wärmeäquivalent :  $1 \text{ kcal} = 427 \text{ mkp}$ ) ist bekannt, daß Arbeit und Wärme gleichwertig sind. Arbeit, Energie und Wärmemenge sind also physikalische Größen gleicher Art.

Die abgeleitete SI-Einheit für diese Größen ist das Joule (J) <sup>2)</sup>:

<sup>2)</sup> J. P. Joule (1818—1889) wurde in Frankreich geboren und arbeitete in England. Aussprache daher entweder „dschaul“ (engl.) oder „dschul“ (franz.)



1 Joule ist gleich der Arbeit, die verrichtet wird, wenn nach Gleichung (3) der Angriffspunkt der Kraft 1 N in Richtung der Kraft um 1 m verschoben wird.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ kgm}^2 \text{ s}^{-2}$$

Ein Joule entspricht ebenfalls der Energieeinheit „Wattsekunde“ (Ws), so daß folgt:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$$

Von diesen Einheiten können in bekannter Weise Teile und Vielfache gebildet werden, z. B.:

$$1 \text{ MJ} = 1\,000 \text{ kJ} = 1\,000\,000 \text{ J}$$

Die bisher üblichen Einheiten für die Wärmemenge, die Kalorie (cal) und Kilokalorie (kcal) entfallen ab 1978. Zur Umrechnung sind folgende Beziehungen wichtig (siehe auch Tabelle 4):

$$1 \text{ kcal} = 4\,190 \text{ J} = 4,19 \text{ kJ} = 4,19 \text{ kWs}$$

$$1 \text{ kJ} = 0,239 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kWh} = 1,36 \text{ PSh} = 860 \text{ kcal} = 3,6 \text{ MJ}$$

**Rechenbeispiel:** Ein Schlepper zieht ein Anhängegerät mit der Kraft  $F = 4\,000 \text{ N}$ . Wie groß ist die Zugarbeit  $W$  längs eines Weges von  $s = 2\,000 \text{ m}$ ?  
Zugarbeit  $W = F \times s = 4\,000 \text{ N} \times 2\,000 \text{ m} = 8 \times 10^6 \text{ Nm}$   
 $= 8\,000 \text{ kJ} = 8 \text{ MJ} = \mathbf{2,2 \text{ kWh}}$

### 3.4 Leistung, Energiestrom, Wärmestrom P

Leistung gibt an, wie groß die Arbeit ist, die in einem Zeitabschnitt verrichtet wird.

$$\text{Leistung } P = \frac{\text{Arbeit } W}{\text{Zeit } t} = \frac{\text{Kraft } F \times \text{Weg } s}{\text{Zeit } t} = \text{Kraft } F \times \text{Geschwindigkeit } v \quad (4)$$

Mißt man die Kraft in N, den Weg in m, die Zeit in s, so ist die Einheit der Leistung:  $[P] = \text{Nm/s}$ .

Diese Einheit der Leistung wird als Watt (W) bezeichnet.

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kgm} \times \text{m}}{\text{s}^2 \times \text{s}} = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^3}$$

1 Watt ist gleich der Leistung, bei der während der Zeit 1 s die Energie 1 J umgesetzt wird. Bekannte Vielfache sind:

$$1 \text{ Megawatt (MW)} = 1\,000 \text{ Kilowatt (kW)} = 10^6 \text{ W}$$

Die Einheiten PS und kcal/h, kcal/s und kpm/s entfallen. Maschinen- und Heizleistungen z. B. von Kesseln werden in kW, Heizwerte von Brennstoffen in kJ/kg oder kWh/kg angegeben (Tabelle 6). Zur Umrechnung ist wichtig (auch Tabelle 4):

$$1 \text{ kW} = 102 \text{ mhp/s} = 1,36 \text{ PS} = 860 \text{ kcal/h}$$

**Rechenbeispiel:** Ein Schlepper zieht bei einer Geschwindigkeit von  $v = 10,8 \text{ km/h}$  ein Anhängegerät mit der Zugkraft  $F = 5\,000 \text{ N}$ . Wie groß ist die Zughakenleistung  $P$ ?

Nach Gleichung (4) folgt:

$$P = F \times v \text{ (W)}$$

F in N und v in m/s einsetzen!

$$v = 10,8 \text{ km/h} : 3,6 = 3 \text{ m/s}$$

$$P = 5\,000 \text{ N} \times 3 \text{ m/s} = 15\,000 \text{ Nm/s} = 15\,000 \text{ W} = \mathbf{15 \text{ kW}}$$

### 3.5 Spezifische Wärmekapazität c

Die spezifische Wärmekapazität c (früher: spezifische Wärme) eines Stoffes gibt an, wieviel Energie Q notwendig ist, um 1 kg Masse eines Stoffes um 1 Kelvin zu erwärmen.

$$\text{spez. Wärmekapazität } c = \frac{\text{Wärmemenge } Q}{\text{Masse } m \times \text{Temperaturdifferenz } T_2 - T_1} \quad (5)$$

Mißt man die Wärmemenge in kJ und die Temperatur in K, so ist die Einheit der spez. Wärmekapazität c:

$$(c) = \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

Ist die spez. Wärmekapazität bekannt, kann die zur Erwärmung erforderliche Wärmeenergie Q errechnet werden (Tabelle 5).

**Rechenbeispiel:** In einem Warmwasserbereiter soll die Masse  $m = 1200 \text{ kg}$  Wasser von  $T_1 = 288 \text{ K}$  ( $t_1 = 15^\circ \text{C}$ ) auf  $T_2 = 330 \text{ K}$  ( $t_2 = 57^\circ \text{C}$ ) erwärmt werden. Wie groß ist die dafür erforderliche Wärmemenge Q? ( $c$  Wasser =  $4,19 \text{ kJ/kgK}$ )

Nach Gleichung (5) folgt:

$$Q = mc_w (T_2 - T_1)$$

$$T_2 - T_1 = 42 \text{ K (siehe 2.4.)}$$

$$Q = \frac{1\,200 \text{ kg} \times 4,19 \text{ kJ} \times 42 \text{ K}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

$$Q = 211\,180 \text{ kJ}$$

$$Q = \mathbf{211,18 \text{ MJ}}$$

oder, da  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$  sind:

$$Q = \mathbf{58,6 \text{ kWh}}$$

### 3.6 Der Heizwert $H_U$ und der Brennwert H

Die Kenntnis des Heizwertes von Brennstoffen hat für den Landwirt und Landtechniker große Bedeutung für die Berechnung von Brennstoffmengen, z. B. für die Trocknung (Tabelle 6).

Der Heizwert  $H_U$  (früher unterer Heizwert) eines Brennstoffes gibt die Wärmemenge an, die bei der Verbrennung von 1 kg eines Brennstoffes frei wird.

$$\text{Heizwert } H_U = \frac{\text{freiwerdende Wärmemenge } Q}{\text{Masse des Brennstoffes } m} \quad (6)$$

Mißt man die Masse in kg und die freiwerdende Wärmemenge Q in kJ, MJ oder kWh, so ergeben sich folgende Einheiten des Heizwertes:

$$(H_U) = \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ oder } \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \text{ oder } \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

Der Brennwert H (früher oberer Heizwert) enthält zusätzlich die Kondensationswärme des Verbrennungswassers. Er liegt höher als der Heizwert und ist technisch nicht verwertbar.



**Rechenbeispiel:** In einem Warmwasserbereiter soll die Masse  $m_w = 1\,200\text{ kg}$  Wasser ( $c_w = 4,19\text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ ) von  $\vartheta_1 = 15^\circ\text{ C}$  auf  $\vartheta_2 = 57^\circ\text{ C}$  innerhalb der Zeit  $t = 2\text{ h}$  mit Heizöl (Heizwert  $H_U = 42,7\text{ MJ/kg}$ , Dichte  $\rho = 0,86\text{ kg/dm}^3$ ) und dem Wirkungsgrad  $\eta = 0,85$  erwärmt werden.

a) Wieviel Liter Heizöl müssen innerhalb der angegebenen Zeit zugeführt werden?

b) Wie groß ist die zugeführte Heizleistung  $P$  des Warmwasserbereiters?

$$\text{zu a) } \eta = \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}} \qquad Q_{zu} = H_U \times m_{\text{öl}} : \text{ nach Gl. (6)}$$

$$\eta = \frac{Q_{ab}}{H_U \times m_{\text{öl}}} \qquad Q_{ab} = m_w \times c_w (\vartheta_2 - \vartheta_1) : \text{ nach Gl. (5)}$$

$$m_{\text{öl}} = \frac{Q_{ab}}{H_U \times \eta} \qquad Q_{ab} = 1\,200\text{ kg} \times 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \times 42^\circ\text{ C}$$

$$m_{\text{öl}} = \frac{211,18\text{ MJ}}{42,7 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times 0,85} \qquad Q_{ab} = 211\,180\text{ kJ}$$

$$m_{\text{öl}} = \frac{211,18\text{ MJ} \times \text{kg}}{42,7\text{ MJ} \times 0,85} \qquad Q_{ab} = 211,18\text{ MJ}$$

$$m_{\text{öl}} = \mathbf{5,82\text{ kg}}$$

da  $\rho_{\text{öl}} = 0,86\text{ kg/dm}^3$  und  $V = m/\rho$  ist folgt:

$$V_{\text{öl}} = \frac{5,82\text{ kg}}{0,86\text{ kg/dm}^3} \qquad V_{\text{öl}} = \mathbf{6,77\text{ dm}^3}$$

Es müssen  $6,77\text{ l}$  Öl zugeführt werden.

$$\text{zu b) Leistung } P = \frac{\text{Wärmearbeit } Q_{zu}}{\text{Zeit } t}$$

$$Q_{zu} = H_U \times m_{\text{öl}} = 42,7\text{ MJ/kg} \times 5,82\text{ kg} = \mathbf{248,5\text{ MJ}}$$

$$\text{Zeit } t = 2\text{ h}$$

$$P = \frac{248,5\text{ MJ}}{2\text{ h}} \qquad \begin{array}{l} 1\text{ MJ} = 1\,000\text{ kWs} \\ 1\text{ h} = 3\,600\text{ s} \end{array}$$

$$P = \frac{248\,500\text{ kWs}}{2 \times 3\,600\text{ s}}$$

**zugeführte Leistung  $P = 34,5\text{ kW}$**

#### 4. Zusammenfassung

Die immer stärker sich herausbildende Verflechtung der nationalen Wirtschaften verlangt dringend nach einem international gültigen Einheitensystem im Meßwesen, das für alle Bereiche der Volkswirtschaft Gültigkeit hat.

Im Jahre 1960 hat eine Generalkonferenz das neue internationale Einheitensystem festgelegt. Es erhielt den Namen „Système International d'Unités“ mit dem verbindlichen Kurzzeichen „SI“.

In der Bundesrepublik Deutschland wurde mit dem „Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ vom 2. Juli 1969 das neue internationale Einheitensystem für verbindlich erklärt. Dieses Gesetz bestimmt, daß ab 1. 1. 1978 im amtlichen und geschäftlichen Verkehr nur noch die in diesem Gesetz festgelegten Einheiten verwendet werden dürfen.

Fast alle bedeutenden Industrienationen der Welt haben sich dieser Konvention angeschlossen. Der vorliegende Artikel gibt eine Einführung in das Internationale Einheitensystem und zeigt an Beispielen die Anwendung der SI-Einheiten auf.

### **Summary**

The increasing linkages between national economics, today, urgently require a standardisation of measurement system which is internationally applicable and valid for all sections of the economy.

In 1960, a general conference has agreed upon the new international unit system. It has been named „Système International d'Unités“ and the respective abbreviation is „SI“.

The „Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ (Law for Units in Measurements) dated 2nd July, 1969 declared the new international unit system to be binding for the Federal Republik of Germany. This law lays down that from 1-1-1978 only these units are to be used for official and business matters.

Nearly all important industrial nations of the world have joined this convention. The above article gives an introduction into the international unit system.

Tabelle 4: Wichtige gesetzliche Einheiten – SI-Einheiten – und deren Umrechnung

Größe	Gesetzliche Einheit		Umrechnungsbeziehung der nicht mehr zugelassenen Einheit
	Bezeichnung	Potenzprodukt der Basiseinheiten	
Länge l	Meter m		
	Seemeile sm	1 sm = 1852 m	
Fläche A	Quadratmeter m <sup>2</sup>		
	Hektar ha	1 ha = 10 000 m <sup>2</sup>	
	Ar a	1 a = 100 m <sup>2</sup>	
Volumen V	Kubikmeter m <sup>3</sup>		
	Liter ltr	1 ltr = 1 dm <sup>3</sup>	
Zeit t	Sekunde s		
	Minute min	1 min = 60 s	
	Stunde h	1 h = 60 min	
	Tag d	1 d = 24 h	
Geschwindigkeit v	Meter durch Sekunde m/s		
	Kilometer durch Stunde km/h	1 m/s = 3,6 km/h	
	Knoten kn	1 kn = 1 sm/h	
Beschleunigung a	Meter durch Sekunde hoch 2 m/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	
Frequenz f	Hertz Hz	1 Hz = 1/s = s <sup>-1</sup>	
Drehzahl n	$\frac{1}{\text{min}} ; \frac{1}{\text{s}}$	1/s = 60/min	U/min entfällt, nur noch z. B. 2 500/min
Masse m	Kilogramm kg		
	Gramm g	1 kg = 1 000 g	
	Dezitonne dt	1 dt = 100 kg	
	Tonne t	1 t = 10 dt = 1000 kg	
	Karat Kt	1 Kt = 0,2 g	nur für Edelsteine
Dichte $\varrho$	Kilogramm durch Kubik- meter kg/m <sup>3</sup>	1 kg/dm <sup>3</sup> = 1 t/m <sup>3</sup>	Spez. Gewicht $\gamma$ nicht mehr zulässig $\gamma = \varrho \times g = 9,81 \text{ m/s}^2 \times \varrho$
Kraft F	Newton N	1 N = 1 mkg/s <sup>2</sup>	Kilopond kp 1 kp = 9,81 N $\approx$ 10 N
		1 daN = 10 N	1 kp $\approx$ 1 da N
		1 kN = 10 <sup>3</sup> N	100 kp $\approx$ 1 kN

Fortsetzung Tabelle 4: Wichtige gesetzliche Einheiten – SI-Einheiten – und deren Umrechnung

Größe	Bezeichnung	Gesetzliche Einheit Potenzprodukt der Basiseinheiten	Umrechnungsbeziehung der nicht mehr zugelassenen Einheit
Druck p	Newton Quadratmeter	$1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}$	Meter Wassersäule mWS $1 \text{ m WS} \approx 10^4 \text{ Pa}$
	$1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Pascal}$ = 1 Pa	1 Bar = $10^5$ Pascal 1 bar = $10^5$ Pa	1 m WS $\approx 0,1$ bar techn. Atmosphäre at 1 at = 0,981 bar $\approx 1$ bar Physikal. Atmosphäre atm 1 atm = 760 Torr = 1,013 bar $\approx 1$ bar Torr 1 Torr = 1 mm Hg = 1,333 mbar = 133,3 Pa
Kraftmoment M	Newtonmeter Nm	1 Nm = $1 \text{ m}^2\text{kgs}^{-2}$	Kilopondmeter kpm 1 kpm = 9,81 Nm $\approx 10$ Nm
Arbeit W	Joule J	1 J = 1 Nm	Kilopondmeter kpm
Energie E	1 J = 1 Nm	= $1 \text{ m}^2\text{kgs}^{-2}$	1 kpm = 9,81 J $\approx 10$ J
Wärme- menge Q	= 1 Ws	= $2,39 \times 10^{-4}$ kcal	Kilokalorie kcal
	(Ws=Wattsekunde)	1 kJ = 1 000 J	1 kcal = 4 186,8 J
	Kilowattstunde	1 kWh = $3,6 \times 10^6$ J = 3,6 MJ = 860 kcal	$\approx 4,2$ kJ $\approx 4,2$ kW 1 PSh = 0,735 kWh = 632 kcal
Leistung P	Watt W	1 W = $1 \text{ m}^2\text{kgs}^{-3}$	Kilopondmeter $\frac{\text{kpm}}{\text{Sekunde}}$ $\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$
Energie- und Wärmestrom	$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$ = 1 V x A		1 kpm/s = 9,81 W $\approx 10$ W 102 kpm/s = 1 kW = 860 kcal/h
	Kilowatt kW	1 kW = $10^3$ W	1 PS = 0,736 kW = 75 kpm/s = 632 kcal/h
Kelvintempe- ratur T	Kelvin K	Basiseinheit Kelvin K	Krad Kelvin $^{\circ}\text{K}$ 1 $^{\circ}\text{K} = 1 \text{ K}$
Celsius- Temperatur t, $\vartheta$	Grad Celsius $^{\circ}\text{C}$ 1 K = $1^{\circ}\text{C}$	T = t + 273 K	
spezifische Wärme- kapazität c	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	$1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 1 \frac{\text{kWs}}{\text{kgK}}$	1 kcal/kg $^{\circ}\text{C} = 4,2$ kJ/kgK 1 kJ/kgK = 0,239 kcal/kg $^{\circ}\text{C}$

Tabelle 5: Spezifische Wärmekapazität  $c$  in kJ/kgK und kcal/kg °C — Auswahl —  
(Gase bei konstantem Druck)

Stoff	$c$	
	kJ/kgK	kcal/kg °C
Wasser	4,19	1,00
Heizöl	1,97	0,47
Stahl	0,5—0,67	0,12—0,16
Kupfer	0,38	0,09
Erdreich	1,7—2,5	0,4—0,6
Eis	2,10	0,50
Luft	1,00	0,24
Wasserdampf	1,97	0,47

Tabelle 6: Heizwerte  $H_U$  fester und flüssiger Brennstoffe in kcal/kg, MJ/kg und kWh/kg (Mittelwerte)

Brennstoff	kcal/kg	MJ/kg	kWh/kg
Holz	3730	15,6	4,4
Braunkohle	4760	20,0	5,6
Koks	7170	30,0	8,3
Steinkohle	7170	30,0	8,3
Benzin	10000	42,0	11,7
Diesel	9980	41,7	11,6
Heizöl EL	10200	42,7	11,9
Propan	10990	46,0	12,8
Butan	10750	45,0	12,5

Anmerkung: 1 kcal/kg = 4,19 kJ/kg  
1 kJ/kg = 0,239 kcal/kg

Tabelle 7: Umrechnungsfaktoren (Conversion Factors) für englische und amerikanische Einheiten in SI-Einheiten und umgekehrt (Auswahl)

Umrechnung von Conversion of	in to	multiplizieren mit multiply by
<b>Längeneinheiten (Lengths)</b>		
Millimeter (mm)	inch (in.)	0,0394
Zentimeter (cm)	inch (in.)	0,3937
Meter (m)	foot (ft.)	3,281
Kilometer (km)	mile, statue (stm.)	0,6215
Kilometer (km)	mile, nautical (nm.)	0,5396
inch (in.)	Millimeter (mm)	25,4
inch (in.)	Zentimeter (cm)	2,54
foot (ft.) = 12 in.	Meter (m)	0,3048
yard (yd.) = 3 ft.	Meter (m)	0,9144
mile, statue (stm.)	Kilometer (km)	1,609
mile, nautical (nm.)	Kilometer (km)	1,853
<b>Flächeneinheiten (Areas, Surfaces)</b>		
Zentimeter <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	square inch (sq. in.)	0,155
Meter <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	square foot (sq. ft.)	10,764
Meter <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	square yard (sq. yd.)	1,196
Ar (a)	square yard (sq. yd.)	119,59
Hektar (ha)	acre	2,471
square inch (sq. in.)	Zentimeter <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	6,452
sq. ft. = 144 sq. in.	m <sup>2</sup>	0,0929
sq. yd. = 9 sq. ft.	m <sup>2</sup>	0,8361
acre = 4840 sq. yd.	m <sup>2</sup>	4047,00
acre = 4840 sq. yd.	ha	0,4047
<b>Raumeinheiten (Volumes)</b>		
Liter (l) = dm <sup>3</sup>	cubic inch (cu. in.)	61,022
Liter (l) = dm <sup>3</sup>	U.S. gallon	0,264
Liter (l) = dm <sup>3</sup>	Imperial gallon (G.B.)	0,2198
Kubikmeter (m <sup>3</sup> )	U.S. gallon	264,20
Kubikmeter (m <sup>3</sup> )	Imperial gallon (G.B.)	219,97
Kubikmeter (m <sup>3</sup> )	cubic yard (cu. yd.)	1,308
pint (pt.) (G.B.) = 1/2 quart	Liter (l) = dm <sup>3</sup>	0,5682
pint (pt.) (USA)	Liter (l)	0,5506
quart (qt.) (USA)	Liter (l)	0,946
quart (qt.) (G.B.) = 2 pt.	Liter (l)	1,136
cubic foot (cu. ft.)	Liter (l)	28,317
cubic yard (cu. yd.)	m <sup>3</sup>	0,765
U.S. gallon = 4 qt.	Liter (l)	3,785
Imperial gallon (G.B.) = 4 qt.	Liter (l)	4,546
Register ton (R. t.) = 100 cu. ft.	m <sup>3</sup>	2,832
Bushel (bu.) (USA)	Liter (l)	35,238
Bushel imperial (bu. imp.) (G.B.)	Liter (l)	36,348



Fortsetzung Tabelle 7: Umrechnungsfaktoren (Conversion Factors) für englische und amerikanische Einheiten in SI Einheiten und umgekehrt (Auswahl)

Umrechnung von Conversion of	in to	multiplizieren mit multiply by
<b>Masse- oder Gewichtseinheiten (Masses or Weights)</b>		
ounce (oz.)	Gramm (g)	28,350
pound (lb.) = 16 oz.	Gramm (g)	453,59
short ton (sh. tn.) (USA) = 2000 lbs.	Kilogramm (kg)	907,18
short ton	metrische Tonne (t)	0,9072
long ton (l. tn.) (G.B.) = 2240 lbs.	Kilogramm (kg)	1016,05
slug (sl.)	Kilogramm (kg)	14,59
Kilogramm (kg)	pounds (lbs.)	2,205
Tonne (t) (SI) = 1000 kg	pounds (lbs.)	2204,62
Tonne (t) (SI) = 1000 kg	short ton (sh. tn.) (USA)	1,1023
Tonne (t) (SI) = 1000 kg	long ton (l. tn.) (G.B.)	0,9842
<b>Kraft- oder Gewichtskrafteinheiten (Forces)</b>		
pound force (lbf.)	Newton (N)	4,448
Newton (N)	pound force (lbf.)	0,2248
<b>Energieeinheiten (Energy)</b>		
BTU <sup>1)</sup>	Joule (J)	1055,87
BTU <sup>1)</sup>	Kilojoule (kJ)	1,0559
Horsepower hour (HPh)	Kilowattstunde (kWh)	0,7457
Horsepower hour (HPh)	Kilojoule (kJ)	2684,5
Kilojoule (kJ)	BTU	0,947
Kilowattstunde (kWh)	HPh	1,3418
Kilowattstunde (kWh)	BTU	3413,34
Newtonmeter (Nm)	foot pound (ft. x lb.)	0,7376
<b>Leistungseinheiten (Power)</b>		
horsepower (HP)	Watt (W)	745,7
horsepower (HP)	Kilowatt (kW)	0,7457
horsepower (HP)	BTU/s	0,707
BTU/s	Kilowatt (kW)	1,0548
Kilowatt (kW)	Horsepower (HP)	1,341
Kilowatt (kW)	BTU/s	0,948
<b>Druckeinheiten (Pressure)</b>		
p. s. i. (lb/sq. in.)	Bar (bar)	0,06895
p. s. i. (lb/sq. in.)	N/cm <sup>2</sup>	0,6895
lb./sq. ft.	N/m <sup>2</sup>	47,881
Bar (bar) = 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup>	p. s. i. (lb/sq. in.)	14,50
N/mm <sup>2</sup>	p. s. i. (lb/sq. in.)	145,03
N/cm <sup>2</sup>	p. s. i. (lb/sq. in.)	1,450

<sup>1)</sup> 1 BTU = 1 British Thermal Unit; ist die Wärmemenge, die 1 engl. Pfund Wasser um 1° Fahrenheit erwärmt.

Fortsetzung Tabelle 7: Umrechnungsfaktoren (Conversion Factors) für englische und amerikanische Einheiten in SI Einheiten und umgekehrt (Auswahl)

Umrechnung von Conversion of	in to	multiplizieren mit multiply by
<b>Einheiten der Dichte (Density)</b>		
pound mass/foot <sup>3</sup> (lb/cu. ft.)	kg/m <sup>3</sup>	16,018
kg/m <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	0,016
kg/m <sup>3</sup>	pound mass/foot <sup>3</sup> (lb/cu. ft.)	0,0624
kg/m <sup>3</sup>	pound mass/yard <sup>3</sup> (lb./cu. yd.)	1,686
kg/dm <sup>3</sup>	pound mass/foot <sup>3</sup> (lb/cu. ft.)	62,50
<b>Einheiten der Geschwindigkeit (Velocity)</b>		
foot per second (ft./sec.)	Meter/Sekunde (m/s)	0,3048
stat. Mile./hour (stm./h)	km/h	1,097
m/s	km/h	1,609
km/h	foot per second (ft./sec.)	3,281
km/h	foot per second (ft./sec.)	0,9116
km/h	stat. mile/hour (stm./h)	0,622
<b>Einheiten des Volumenstromes (Flow)</b>		
feet <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /s	0,02832
gallon/minute	Liter/Sekunde (l/s)	0,0631
m <sup>3</sup> /s	feet <sup>3</sup> /second	35,311
Liter/Sek.	gallon/minute	15,85



### **Ihr betriebseigenes Stickstoffwerk**

liefern Ihnen alle **Leguminosen** wie Klee und Hülsenfrüchte, wenn die Aktivität der Knöllchenbakterien gut ist. Dazu ist die Saatgutimpfung mit **RADICIN** erforderlich. Sie ist einfach und wirtschaftlich, fördert das Wachstum und den Eiweißgehalt und liefert Stickstoff für die Haupt- und Folgefrucht!

Näheres durch:

**RADICIN-Institut, Postfach 224, 5860 Iserlohn, Abt. T. 2**

... und Mikronährstoffdünger **EXCELLO** zur Erzielung optimaler Erträge.

## Bücher, die Sie kennen sollten

### **Landwirtschaftliche Betriebsformen in den Tropen**

Bodennutzung und Viehhaltung im Spannungsfeld von Tradition und Fortschritt. Von Prof. Dr. Bernd Andreae. 1972. 190 Seiten, 33 Abb., 41 Tabellen. Balacron geb. 48,- DM.

### **Die Bodenfruchtbarkeit in den Tropen**

Problems of Soil Fertility in the Tropics. Nutzbarmachung und Erhaltung. Betriebswirtschaftliche Überlegungen für die Arbeit in Entwicklungsländern. Utilization and Maintenance. Reflections on Farm-Management for Work in the Developing Countries. Von Prof. Dr. Bernd Andreae. 1965. 124 Seiten, 16 Schaubilder, 21 Übersichten, Ln. 38,- DM.

### **Tropische Böden**

Einführung in die bodenkundlichen Grundlagen tropischer und subtropischer Landwirtschaft. Von Doz. Dr. Arnold Finck. 1963. 188 Seiten, 63 Abb., 63 Tab., Leinen 38,- DM.

### **Crop Pests in Tanzania and their Control**

Von Dr. Eberhard Bohlen. Hrsg. von der Bundesstelle für Entwicklungshilfe. 1973. 142 Seiten, 252 Farbphotos auf 42 Tafeln, 18 Textabbildungen. Text in Englisch. Balacron gebunden, 64,- DM.

### **Insects and Mites Injurious to Crops in Middle Eastern Countries**

Von Abdul Mon'im S. Talhouk. „Monographien zur angewandten Entomologie“, Heft 21. 1969. 239 Seiten, 71 Abb., 11 Tabellen. Text in Englisch. Broschiert 40,- DM.

### **Veredelungswirtschaft in Chile**

Milch- und Fleischproduktion in Grünlandbetrieben. Ein Leitfaden für den praktischen Landwirt und für den Wirtschaftsberater. Von Prof. Dr. Alfred H. Könekamp. 1969. 257 Seiten, 37 Abbildungen, 119 Tab. Kart. 36,- DM.

### **Massenarmut und Hungerkrisen im vorindustriellen Europa**

Versuch einer Synopsis. Von Prof. Dr. Wilhelm Abel. 1974. 427 Seiten, 74 Abbildungen, 8 Tabellen, Leinen 85,- DM.

**Verlag Paul Parey · Hamburg und Berlin**