

Umstellung auf Einheiten des „Système International“ (SI) im Bereich des Betonbaus *)

Von Karsten Rendchen, Düsseldorf

Ab 1. 1. 1978 müssen in der Bundesrepublik Deutschland und in den übrigen Ländern der EG im geschäftlichen und amtlichen Verkehr die SI-Einheiten verwendet werden, die damit u. a. auch Einheiten des bislang im Ingenieurwesen vorwiegend verwendeten technischen Einheitensystems ablösen. Dadurch ergeben sich in Wirtschaft und Technik Änderungen, die zwar langfristig international eine Vereinfachung bewirken und zum Abbau von Handelshemmnissen beitragen, in der Einführungszeit aber lästig und erschwerend sein können.

Auch das Gebiet des Bauens wird durch diese Änderungen erfaßt. Hier wird u. a. auch der Bereich der Baustoffprüfung betroffen. Durch die Einführung der neuen Einheiten ergeben sich sowohl neue Bezeichnungen für die einzelnen Baustoffklassen (wie z. B. Zement- und Betonfestigkeitsklassen) als auch von den bisherigen Werten abweichende Kennwerte zur Charakterisierung der verschiedenen Baustoffe.

Bei der Umstellung auf die neuen gesetzlichen Einheiten wird außerdem versucht, aus der Reihe der zulässigen gesetzlichen Einheiten zur Vereinheitlichung im Bereich des Beton- und Stahlbetonbaus nur bestimmte Einheiten zuzulassen.

Neue Einheiten und damit im allgemeinen auch andere Zahlenwerte erhalten ebenfalls einige wärmetechnische und bauphysikalische Größen.

Im Rahmen der Einführung der SI-Einheiten ist auch eine Umstellung der Betonprüfmaschinen erforderlich.

1. Einleitung

Aufgrund internationaler Vereinbarungen hat der Deutsche Bundestag 1969 ein Gesetz über Einheiten im Meßwesen [1] verabschiedet, das durch eine Ausführungsverordnung [2] 1970 in Kraft getreten ist. Damit wurden die Einheiten des „Système International“ – kurz SI-Einheiten genannt – durch Gesetz eingeführt. Dieses Gesetz gewährte allerdings für die Verwendung verschie-

*) In Anlehnung an einen Vortrag auf der Vollsitzung des Ausschusses Beton-technik des Vereins Deutscher Zementwerke am 24. Januar 1978 in Düsseldorf

dener Einheiten wie z. B. das Pond (p)¹⁾ bzw. kp Übergangsfristen, deren letzte, für das Bauwesen maßgebende am 31. Dezember 1977 abgelaufen ist. Für die Umstellung auf die neuen international vorgesehenen Einheiten waren im wesentlichen zwei Gründe maßgebend:

1. Die SI-Einheiten sollen eine bessere internationale interdisziplinäre Verständigung ermöglichen. Als Folge der Spezialisierung der einzelnen Wissenschaften und Techniken entstanden im Laufe der Zeit sowohl von Land zu Land verschiedene (Tafel 1) als auch in einem Land voneinander nahezu unabhängige Einheitensysteme (Tafel 2), die eine Verständigung

Tafel 1 Bisherige physikalische Einheitensysteme der Mechanik in verschiedenen Ländern

Grundgröße	Einheit		Anwendung nach 31. 12. 1977 noch möglich
	Name	Zeichen	
MKS-System (z. B. Deutschland)			
Länge	Meter	m	ja
Masse	Kilogramm	kg	ja
Zeit	Sekunde	s	ja
MTS-System (z. B. Frankreich)			
Länge	Meter	m	ja
Masse	Tonne	t	ja (als Einheit außerhalb des SI)
Zeit	Sekunde	s	ja
ft-lb-s-System (z. B. Großbritannien)			
Länge	Fuß	ft	nein
Masse	Pfund	lb	nein
Zeit	Sekunde	s	ja

Tafel 2 Vergleich zweier Einheitensysteme der Mechanik

Grundgröße	Einheit	
	Name	Zeichen
Physikalisches Einheitensystem ¹⁾		
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Technisches Einheitensystem ²⁾		
Länge	Meter	m
Kraft	Kilopond	kp
Zeit	Sekunde	s

¹⁾ In diesem System ist die Kraft eine abgeleitete Größe (denn Kraft = Länge · Masse · Zeit⁻²).

²⁾ In diesem System ist die Masse eine abgeleitete Größe (denn Masse = Länge⁻¹ · Kraft · Zeit²).

¹⁾ Der Einheitenname Pond (lateinisch: pondus = Kraft) geht auf einen Vorschlag zurück von F. Hoffmann aus dem Jahre 1934. Aus sprachlichen Gründen fand die Kräfteinheit Pond jedoch keine allgemeine Anerkennung bei den Mitgliedstaaten der Meter-Konvention und wurde nur in die schweizerischen, schwedischen, österreichischen und deutschen Normen aufgenommen [3].

- untereinander nur durch erschwerende Umrechnungen, teilweise unter Zuhilfenahme eines physikalischen Nachschlagewerks, zuließen. Bekannte Beispiele hierfür sind die Einheiten für die Energie, z. B. $\text{kg} \cdot \text{m}$ in der Mechanik, cal in der Wärmelehre, für die Länge z. B. Zoll bzw. Fuß in den englischsprachigen Ländern gegenüber mm und m in den übrigen Ländern, oder für die mechanische Spannung, z. B. psi (pound/square inch) in den englischsprachigen Ländern gegenüber kp/cm^2 bzw. Mp/m^2 in anderen Ländern. Zusätzliche Unterschiede bestehen außerdem in den englischsprachigen Ländern selbst bei gleichlautenden Einheiten. So unterscheiden sich Einheiten des englischen Imperial-Systems²⁾ von gleichlautenden amerikanischen Einheiten. Zum Beispiel ist 1 imp. inch (GB) = 25,399 978 mm, 1 US inch dagegen 25,400 051 mm, oder 1 imp. bushel = 2219,36 imp. cubic-inch, 1 US bushel aber nur 2150,42 US cubic-inch.
2. Die nebeneinander verwendeten sowohl national als auch international unterschiedlichen Einheiten beeinträchtigen nicht nur die Vergleichbarkeit von Meßergebnissen, sie wirken, wie beispielsweise unterschiedliche Vermaßungen in Zoll und mm, erschwerend für den Handel. Eine erfolgreiche Zusammenarbeit auf internationaler Ebene ist aber nur gesichert – und damit wird die Umstellung auf die SI-Einheiten offiziell begründet –, wenn eine der wichtigsten Grundlagen des gesamten Meßwesens, die Einheiten, in Übereinstimmung mit den internationalen Festlegungen in Kraft getreten sind.

2. Grundlage der neuen Einheiten

Das von der Generalkonferenz für Maß und Gewicht erarbeitete „Internationale Einheitensystem“ (Système International d'Unités) wurde – zuerst in Form einer Empfehlung ISO R 1000: Regeln für den Gebrauch der Einheiten des Internationalen Einheitensystems und eine Auswahl der dezimalen Vielfachen und Teile der SI-Einheiten, Februar 1969, dann 1973 als internationale Norm ISO 1000 – von der Internationalen Normenorganisation ISO eingeführt. 1970 wurden die SI-Einheiten als gesetzliche Einheiten in der Bundesrepublik Deutschland eingeführt.

Der internationalen Norm ISO 1000 entspricht auf nationaler Ebene DIN 1301: Einheiten; Teil 1: Einheitenamen, Einheitenzeichen, und Teil 2: Allgemein angewendete Teile und Vielfache, die sich an die gesetzliche Einheitenregelung anschließt und im Februar 1978 neu erschienen ist. Während sich das Gesetz über Einheiten im Meßwesen und die Ausführungsverordnung dazu nur auf den *geschäftlichen und amtlichen Verkehr* (Tafel 3) (siehe dazu auch [4]) erstrecken, haben DIN 1301 Teil 1 und Teil 2 allgemeine Bedeutung.

Für die auf dem Gebiet des Bauwesens zu verwendenden Einheiten gilt DIN 1080: Begriffe, Formelzeichen und Einheiten im Bauingenieurwesen, Juni 1976, Teil 1 – Grundlagen. Es ist

²⁾ Imperial standard = britische Reichs- oder Urnorm von 1826.

Tafel 3 Geschäftlicher und amtlicher Verkehr

„Geschäftlicher“ Verkehr	„Amtlicher“ Verkehr	Lehre, Schrifttum
Vorbereitung von Geschäften (Angebot, Werbung, Auszeichnung der Waren)	Alle Vorgänge hoheitlicher und verwaltender Art	Hier ist das Gesetz nicht verbindlich
Abwicklung von Geschäften (Verkauf, Zusendung der Ware, Berechnung)	Verwaltungsakte Erlaß von Gesetzen	
Berechnung einer Leistung gegen Entgelt	Jede Tätigkeit eines Amtes mit einem Dritten	
Angaben über Produkte (Beschreibung, Charakterisierung) u. a.	Sonstige Verwaltungstätigkeiten u. a.	

beabsichtigt, in einem Teil 3 die Einheiten für den Bereich des Beton- und Stahlbetonbaus festzulegen, die in Teil 1 bislang noch nicht geregelt worden sind oder in ihrer Bedeutung über Teil 1 noch hinausgehen. Dafür wird zur Zeit ein zweiter Entwurf erarbeitet.

Obwohl weder die Rechtsvorschriften über die Einheiten im Meßwesen noch die Beschlüsse der Generalkonferenz für Maß und Gewicht einen eingeschränkten Gebrauch von Vorsätzen³⁾ vorsehen [5] und auch die DIN 1301 die Festlegungen der ISO 1000, bei Einheiten, die als Quotient oder Produkt aus anderen Einheiten gebildet werden, nur einmal einen Vorsatz zu verwenden, nicht übernommen hat, ist diese verschärfende Regelung in DIN 1080 für das Bauwesen vorgeschrieben worden. Dadurch haben sich Schwierigkeiten und ein Mehraufwand bei der Umstellung ergeben, die bei einer entsprechenden Großzügigkeit wie bei den Festlegungen in DIN 1301 vermieden worden wären. Es hätte dann die Möglichkeit bestanden, trotz neuer Einheiten (z. B. bei der Betonfestigkeit daN/cm^2) die gewohnten Größenordnungen für Baustoffkennwerte beizubehalten, was dem Stahlbau offenbar gelungen ist.

Eine Ordnungswidrigkeit im *geschäftlichen Verkehr* — also die Verwendung anderer als gesetzlicher Einheiten — kann nach § 11 des „Einheitengesetzes“ mit einer Geldbuße geahndet werden. Nicht unter die Bußgeldverordnung fallen innerbetriebliche Vorgänge, Forschung, Wissenschaft und Lehre sowie Einheitenangaben in Büchern oder Zeitschriften, sofern hier nicht für Erzeugnisse geworben wird, bei denen Einheitenangaben gemacht werden (vergleiche Tafel 3 und [4]). Über die Bedeutung der DIN-Normen im *amtlichen* und *geschäftlichen Verkehr* wird in [6] ausführlich Stellung genommen, insbesondere zur Frage, ob und welche rechtlichen Konsequenzen sich ergeben, wenn einzelne DIN-Normen nach Ablauf der Übergangsfrist (hier 31. 12. 1977) noch nicht umgestellt sind.

³⁾ Siehe auch Abschnitt 3.

Für die Normen im Bauwesen und im Wasserwesen, die bis zum Ende der Übergangsfrist noch nicht auf gesetzliche Einheiten umgestellt werden konnten, hat der Ausschuß für Einheitliche Technische Baubestimmungen (ETB-Ausschuß) im Benehmen mit den betroffenen Fachbereichen des Normenausschusses Bauwesen im DIN „Ergänzende Bestimmungen“ erarbeitet [7]. Darin sind Übergangsregelungen für Festlegungen und Umrechnungen in Normen bis zu deren Neufassung mit SI-Einheiten enthalten. Durch diese ETB-Richtlinie soll eine gleichzeitige Umstellung in allen Bereichen des Bauwesens erzielt werden. Die neuen gesetzlichen Einheiten gelten auch für bauaufsichtlich zugelassene Baustoffe und für solche mit Prüfzeichen. Für Zulassungen, deren Geltungsdauer über die Umstellungsfrist hinausgeht, wurde die Einführung der neuen Einheiten und Bezeichnungen im Einföhrungserlaß dieser ETB-Richtlinie geregelt.

3. Basiseinheiten und abgeleitete Einheiten des SI

Anstelle der bisherigen verschiedenen Einheitensysteme soll in Zukunft national und international ein einziges vereinfachtes Einheitensystem verwendet werden. Die neuen Einheiten werden eingeteilt in Basiseinheiten (Tafel 4), die abgeleiteten Einheiten (Tafel 5), von denen hier nur die für das Bauwesen wichtigen wiedergegeben sind (eine vollständige Aufzählung siehe DIN 1301 Teil 1, Tabelle 2), und die Einheiten mit den zugelassenen Vorsätzen, wie z. B. Mikro (Vorsatz μ für 10^{-6}) oder Mega (Vorsatz M für 10^6). Dies sind dann allerdings keine SI-Einheiten mehr, da sie aus den Basiseinheiten nicht kohärent, d. h. mit dem Zahlenfaktor 1, abgeleitet werden können. Daneben gibt es jedoch auch weiterhin allgemein anwendbare Einheiten außerhalb des SI, wie z. B. Liter (l), Tonne (t) oder Stunde (h) (und damit z. B. auch km/h, vergleiche DIN 1301 Teil 1, Tabelle 4), und Einheiten außerhalb des SI mit beschränktem Anwendungsgebiet, wie z. B. Ar (a), Hektar (ha) oder Elektronenvolt (eV) (vergleiche DIN 1301 Teil 1, Tabelle 5).

Tafel 4 SI-Basiseinheiten

Physikalische Größe	Einheit	
	Name	Zeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
elektrische Stromstärke	Ampere	A
thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Lichtstärke	Candela	cd
Stoffmenge	Mol	mol

Auch die in einigen Bereichen verwendeten Härtewerte (Rockwell-, Vickers- oder Brinell-Härte) können aufgrund eines internationalen Beschlusses in gleicher Form weiterverwendet werden, jedoch ist dabei zu berücksichtigen, daß sich bei Ermittlung des Zahlenwertes der Prüfkraft in Newton andere Werte ergeben [8].

Tafel 5 Abgeleitete SI-Einheiten mit eigenem Namen

Physikalische Größe	Einheit		Einheitenbeziehung
	Name	Zeichen	
Kraft	Newton	N	1 N = 1 kgm/s ²
Druck, mechanische Spannung	Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
Energie, Arbeit, Wärmemenge	Joule	J	1 J = 1 Nm = 1 Ws
Moment durch eine Kraft	Watt	W	1 W = 1 Nm/s = 1 J/s
Leistung, Wärmestrom	Grad Celsius	°C	1 °C = 1 K
Celsius-Temperatur ¹⁾	Celsius		

1) Bei Angabe der Celsius-Temperatur $t = T - T_0$ mit $T_0 = 273,15 \text{ K}$ wird der Einheitenname Grad Celsius als besonderer Name für das Kelvin benutzt. Eine Differenz zweier Celsius-Temperaturen darf auch in Grad Celsius angegeben werden (nach DIN 1301 Teil 1, Anhang A.5).

Nicht mehr verwendet werden dürfen u. a. die in Tafel 6 aufgeführten Einheiten. (Auch hier sind nur die für das Bauwesen wesentlichen physikalischen Größen aufgeführt.)

In diesem Zusammenhang soll noch einmal erläutert werden, warum als Einheit für die Kraft das Newton (N) dem kp vorgezogen worden ist: Im technischen Einheitensystem ist anstelle der Masse (kg) die Kraft (kp) die Grundgröße (vgl. Tafel 2). Da diese Grundgröße jedoch aufgrund der ortsabhängigen Erdbeschleunigung

Tafel 6 Für den amtlichen und geschäftlichen Verkehr ab 1. 1. 1978 nicht mehr zugelassene Einheiten

Physikalische Größe	Einheit		Umrechnung in SI-Einheiten
	Name	Zeichen	
Kraft	Dyn	dyn	1 dyn = 10^{-5} N
	Pond	p	1 p = $9,81 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
Druck	physikalische Atmosphäre	atm	1 atm = $101,1 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
	technische Atmosphäre	at	1 at = $9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
	Torr	Torr	1 Torr = $\frac{10,1 \cdot 10^4}{760} \text{ Pa}$
	konventionelle Meter-Wassersäule	m WS	1 m WS = $9,81 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
	konventionelle Millimeter-Quecksilbersäule	mm QS	1 mm QS = $1,33 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
Wärmemenge	Kalorie	cal	1 cal = 4,1868 J
Leistung	Pferdestärke	PS	1 PS = 735,5 W
dynamische Viskosität	Poise	P	1 P = $10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
kinematische Viskosität	Stokes	St	1 St = $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
Temperatur	Grad Kelvin	°K	1 °K = 1 K

gung nicht überall gleich ist, müßte im technischen Einheitensystem die Maßzahl für die abgeleitete Einheit Masse stets neu ermittelt werden – obwohl eine bestimmte Masse tatsächlich überall die gleiche ist. Legt man aber aus diesem Grunde das physikalische Einheitensystem mit der Grundgröße Masse zugrunde, so ergeben sich nichtkohärente abgeleitete Einheiten, d. h. auch die Beziehung Kraft = Masse · Beschleunigung (heute $F = m \cdot a$, bislang $K = m \cdot b$) liefert für die abgeleitete Größe Kraft keine einfache Maßzahlenbeziehung, nämlich bei Verwendung der Normalfallbeschleunigung

$$1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Bei der Verwendung der Einheit N für die Kraft dagegen ergibt sich stets nur die Maßzahl 1, da 1 Newton gerade als die Kraft definiert ist, die an einer Masse von 1 kg die Beschleunigung von 1 m/s^2 bewirkt. Damit ergeben sich für alle anderen abgeleiteten SI-Einheiten kohärente Einheiten (vergleiche Tafel 5, letzte Spalte). Beim Rechnen bieten die kohärenten SI-Einheiten Vorteile. Setzt man in Größengleichungen die Größen in SI-Einheiten ein, so erhält man auch das Ergebnis stets in SI-Einheiten, ohne Umrechnungsbeziehungen für Einheiten berücksichtigen zu müssen.

4. Auswirkungen auf den Betonbau

Durch die Umstellung der Einheiten ergeben sich auf dem Gebiet der Betontechnik und Betonprüfung einige Änderungen, die zum Teil auch ein Umdenken gegenüber den bisherigen Gewohnheiten erforderlich machen.

4.1 Gewicht und Masse

Das Wort Gewicht beinhaltet bislang im technischen Bereich eine Doppeldeutigkeit, die oft zu Schwierigkeiten führte. Zum einen wird „Gewicht“ als Größe von der Art einer Last im Sinne des Newton-Gesetzes $F = m \cdot a$ verwendet (frühere Bezeichnung Gewichtskraft mit der Einheit Kraft-Kilogramm, international vorwiegend kilogramforce, kgf). Meßtechnisch ist dies mit einer Federwaage darstellbar, wobei die angehängte Masse m je nach Erdanziehung eine bestimmte Federauslenkung bewirkt.

Zum anderen wird „Gewicht“ als Größe von der Art einer Masse im Sinne eines Wäageergebnisses verwendet, die sich sowohl als Trägheit gegenüber einer Änderung des Bewegungszustandes als auch in der Anziehung zu anderen Körpern äußert. Meßtechnisch wird die Masse eines Körpers durch Vergleich mit Körpern bekannter Massen z. B. mit einer Balkenwaage bestimmt.

Durch die Umstellung der Einheiten soll in Zukunft auch eindeutig zwischen den Begriffen Masse und Gewicht (Last) unterschieden werden, wie es DIN 1080 Teil 1, Abschnitt 3.3, bereits vorschreibt, da die Doppeldeutigkeit des Wortes „Gewicht“ weder technisch noch physikalisch haltbar ist und „Gewicht“ daher nicht mehr verwendet werden soll. Lediglich bei der Angabe von Warenmengen

von der Art einer Masse darf „Gewicht“ nach DIN 1080 Teil 1, Abschnitt 3.2, noch verwendet werden.

Vielleicht wird auf lange Sicht die Bezeichnung Gewichts-% (Gew.-%) z. B. im Rahmen der Zuschlagprüfungen bei der Bestimmung des Siebdurchgangs, der abschlämmbaren Bestandteile oder der Eigenfeuchte sowohl beim Zuschlag als auch beim Beton u. a. m. durch die Bezeichnung Massen-% (m-%) ersetzt werden. Zur Zeit jedoch wird in Normen sowohl die Bezeichnung Gew.-% als auch die Bezeichnung m-% gleichbedeutend in ihrer Aussage verwendet, so z. B. auch bei der Zugabe von Zusatzmitteln, wenn sie nicht in Volumen-% erfolgt. Da hierbei im allgemeinen jedoch die zuzumessende Menge auf den Zement bezogen wird, empfiehlt sich hier auch eine Angabe in der Form „... g je kg Zement“.

4.2 Länge, Fläche, Volumen

Die SI-Einheiten für die Längen-, Flächen- und Volumenangaben sind m, m² und m³. Die Angaben können jedoch weiterhin in dezimalen Teilen oder Vielfachen dieser SI-Einheiten erfolgen, z. B. mm², cm², dm² als Flächeneinheiten. Nach wie vor darf auch die Bezeichnung l (für die Volumeneinheit dm³) verwendet werden.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß für die Kurzzeichen für Längen-, Flächen- und Volumeneinheiten wie z. B. qm (Quadratmeter), qkm (Quadratkilometer), ccm oder auch cbm (Kubikzentimeter bzw. Kubikmeter) bereits seit 1974 die Übergangsfrist abgelaufen ist. Heute dürfen im geschäftlichen und amtlichen Verkehr dafür nur die Einheitenzeichen m², km², cm³ und m³ verwendet werden.

In jüngster Zeit sind Bestrebungen im Gange, im Rahmen der Umstellung der Normen DIN 1045, DIN 1048 und DIN 1084 die bisher in cm angegebenen Größen, wie z. B. Probekörperabmessungen, Ausbreitmaß oder Wassereindringtiefe, zukünftig in mm zu beschreiben. Damit würde eine Genauigkeit vorgetäuscht, die nicht gegeben ist. Dies gilt ganz besonders für das Ausbreitmaß, das nur auf eine Genauigkeit von cm sinnvoll angegeben werden kann.

4.3 Rohdichte, Schüttdichte, Dichte⁴⁾

Für die „Dichte“ als „die auf das Volumen bezogene Masse“ gilt als abgeleitete SI-Einheit kg/m³. Während nach DIN 1301 jedoch dafür auch andere Einheiten, wie kg/dm³, verwendet werden dürfen, ist diese Einheit für das Bauwesen nicht mehr zulässig. In DIN 1080 Teil 1 (Juni 1976) ist die Einheit kg/dm³ bewußt nicht mehr aufgenommen worden, obwohl weder das Systeme International noch das Einheitengesetz diese Einheit ausschließen und auch keine sonstige zwingende Notwendigkeit diese Festlegung rechtfertigt. Der Übergang vom kg/dm³ auf kg/m³

⁴⁾ Das Wort Reindichte soll gemäß DIN 1306: Dichte; Begriffe, Dezember 1971, nicht mehr verwendet werden, da die Reindichte mit der Dichte in DIN 1306, Abschnitt 1, identisch ist.

würde eine Genauigkeit vortäuschen, die auch hier nicht gegeben ist. Es sei denn, die letzte Ziffer würde stets als 0 mitgeführt, was jedoch wenig sinnvoll ist.

Das Abweichen von der Einheit kg/dm^3 im Fachbereich Beton- und Stahlbetonbau könnte bedeuten, daß im Bereich des NABau unterschiedliche Einheiten für die Dichte verwendet werden könnten, da zu erwarten ist, daß z. B. die Steinhersteller, die in Zukunft ja zum Teil die Rohdichte auf ihre Produkte aufdrucken müssen, bei der Einheit kg/dm^3 für die Rohdichte bleiben.

4.4 Spannung, Festigkeit, Elastizitätsmodul

Nach Einführung der SI-Einheit Newton (N) für die Kraft F ergeben sich für die Spannung, die Festigkeit und den E-Modul ebenfalls neue Einheiten. Anstelle der bisher verwendeten Einheit kp/cm^2 wird in DIN 1080 Teil 1 die Verwendung von MN/m^2 bzw. N/mm^2 empfohlen. Im Entwurf von DIN 1080 Teil 3 ist dagegen für die Baustoffkenngrößen nur noch die Einheit MN/m^2 vorgesehen! Da sich bereits früher mehrere technische Komitees der ISO für die Einheit N/mm^2 als Bezeichnung der mechanischen Festigkeit ausgesprochen hatten [9], entschied man sich nun, für Stoffeigenschaften, wie Festigkeit oder Elastizitätsmodul, die Einheit N/mm^2 zu verwenden, die Spannungen und den E-Modul in statischen Berechnungen dagegen der Konformität der Einheiten wegen mit der Einheit MN/m^2 zu versehen [10].

Mit der Einheit N/mm^2 erhält man Zahlenwerte, die zwischen den bisher mit den Einheiten kp/mm^2 und kp/cm^2 ermittelten liegen und die, da 1 kp/cm^2 bei Umrechnung 0,0981 N/mm^2 entsprechen (vergleiche Tafel 7), zu unrunder Zahlenwerten führen. Da bei Nennwerten (z. B. Bn 350) jedoch eine Ungenauigkeit von rd. 2% von untergeordneter Bedeutung ist, wurde festgelegt, die Festigkeitsklassen sowohl der Zemente als auch der Betone und die entsprechenden Anforderungen im Verhältnis 1 : 10 umzurechnen, so daß z. B. die bisherige Festigkeit 350 kp/cm^2 durch 35 N/mm^2 ersetzt wird. Dadurch ergeben sich um etwa 2% höhere Festigkeitsanforderungen als bisher. Das gleiche Verhältnis legte man auch bei der Umrechnung der Kennwerte für den Elastizitätsmodul zugrunde.

Tafel 7 Umrechnungstabelle für Spannungseinheiten bzw. Druckeinheiten

	Pa	bar	N/mm^2	kp/cm^2	atm	Torr
1 Pa = 1 N/m^2	1	$0,1 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$0,0102 \cdot 10^{-3}$	$9,87 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$
1 bar	$0,1 \cdot 10^4$	1	0,1	1,02	0,987	750
1 N/mm^2	10^6	10	1	10,2	9,87	$7,5 \cdot 10^3$
1 kp/cm^2	$98 \cdot 10^4$	0,981	$98,1 \cdot 10^{-3}$	1	0,968	736
1 atm (= 760 Torr)	$101,33 \cdot 10^3$	1,013	0,101	1,033	1	760
1 Torr (= 1 mmHg)	133	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$0,133 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	1

In DIN 1164: Portland-, Eisenportland-, Hochofen- und Traßzement Teil 7 – Bestimmung der Festigkeit – ergeben sich für die Prüfung der Festigkeit entsprechende Änderungen. So lauten z. B. in Zukunft die Gleichungen für die Ermittlung der Festigkeiten:

$$\text{Biegezugfestigkeit } \beta_{BZ} = 2,34 \cdot 10^{-3} \cdot F \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\text{Druckfestigkeit } \beta_D = \frac{F}{2500} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

In diesen Gleichungen ist F die bei der Prüfung ermittelte Kraft, die bisher mit P bezeichnet wurde.

Die um eine Zehnerpotenz niedrigeren Zahlenwerte für die Festigkeitsanforderungen machen auch eine entsprechende Änderung bei der Bezeichnung der Festigkeitsklassen selbst erforderlich. So wird z. B. ein bisher bezeichneter Zement Z 450 F ein Z 45 F oder ein Beton der Festigkeitsklasse Bn 350 ein Beton B 35 (siehe Tafel 8 und Tafel 9).

Diese Umstellung hinterläßt bei manchem zunächst den Eindruck, daß die neuen Werte keine Vorstellung ihrer Größe mehr vermitteln. Unter dem Ergebnis einer Druckfestigkeitsprüfung von Beton von z. B. 463 kp/cm² konnte man sich bislang aufgrund der Erfahrungen über die Last von 1 kp auf der Fläche von 1 cm²

Tafel 8 Festigkeitsklassen von Zement nach DIN 1164 nach Umstellung auf SI-Einheiten

Zementfestigkeitsklasse	Druckfestigkeit in N/mm ² nach			
	2 Tagen mind.	7 Tagen mind.	28 Tagen mind.	höchstens
Z 25	–	10	25	45
Z 35	L	–	18	35
	F	10	–	35
Z 45	L	10	–	45
	F	20	–	45
Z 55	30	–	55	–

Tafel 9 Betonfestigkeitsklassen (Druckfestigkeit) nach DIN 1045 nach Umstellung auf SI-Einheiten

Betongruppe	Betonfestigkeitsklasse	Nennfestigkeit β_{WN} N/mm ²	Serienfestigkeit β_{WS} N/mm ²	Anwendung
Beton B I	B 5	5,0	8,0	Nur für unbewehrten Beton
	B 10	10	15	
	B 15	15	20	Für unbewehrten und bewehrten Beton
	B 25	25	30	
Beton B II	B 35	35	40	
	B 45	45	50	
	B 55	55	60	

etwas vorstellen. Aus diesem Wert wird nun durch die Umrechnung von kp/cm^2 auf N/mm^2 $45,4 \text{ N/mm}^2$. Diese Kommadarstellung der Festigkeiten zwang zu Überlegungen, inwieweit die angegebene Genauigkeit bei der bisherigen Schreibweise (auf 1 kp/cm^2 genaue Angabe der Festigkeit) sinnvoll gewesen ist bzw. ob es gerechtfertigt oder erforderlich sei, bei der jetzigen Schreibweise die Stelle hinter dem Komma mit anzugeben. Dies führte zu einem Beschluß in einem übergeordneten Ausschuß des NABau, in Zukunft alle Festigkeiten nur mit zwei Ziffern anzugeben. Damit ergibt sich für die Druckfestigkeit im obigen Beispiel 45 N/mm^2 . Für eine bisherige Biegezugfestigkeit von z. B. 63 kp/cm^2 ergibt sich bei der Angabe von zwei Ziffern jetzt der Wert $6,2 \text{ N/mm}^2$.

5. Wärmetechnische Größen

5.1 Wärmemenge

Durch die Umstellung auf die SI-Einheiten wird für Wärmemengen (Energie, Arbeit) die Einheit Joule (J) eingeführt. Damit ändern sich nicht nur die Einheiten z. B. der Wärmekapazität, der spezifischen Wärme oder der Hydratationswärme, sondern in der Regel auch die entsprechenden Zahlenwerte. Für Zement NW mit niedriger Hydratationswärme in Abschnitt 4.5 von DIN 1164 Teil 1 wird der derzeitige Grenzwert für die zulässige Wärmemenge von höchstens $65 \text{ cal je g Zement}$ infolge der Umrechnung ($1 \text{ cal} = 4,187 \text{ J}$) durch den zukünftigen Grenzwert von höchstens $270 \text{ J je g Zement}$ ersetzt. In Teil 8 von DIN 1164 ergeben sich entsprechende Änderungen, insbesondere bei den Gleichungen zur Errechnung der Wärmekapazität in J/K (Abschnitt 5.5) und zur Bestimmung der Hydratationswärme in J/g (Abschnitt 6.4.3).

Für die spezifische Wärme wird zukünftig statt $\text{kcal}/(\text{kg} \cdot \text{grad})$ die Einheit $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ verwendet werden. Dabei gilt die Umrechnung $1 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{grad}) = 4,187 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. Weitere Umrechnungsfaktoren sind in Tafel 10 zusammengestellt.

5.2 Wärmestrom

Für Wärmeströme (z. B. Wärmeübertragung, Wärmeenergie/Zeit), für die bisher ebenfalls die Einheit kcal verwendet worden war, wird in Zukunft das Watt (W) verwendet werden. Damit ändern sich

Tafel 10 Umrechnungstabelle für Einheiten der Arbeit, Energie und Wärmemenge

	J	kWh	kcal	PS · h	kpm	SKE ¹⁾
1 J = 1 Nm	1	$0,278 \cdot 10^{-4}$	$0,239 \cdot 10^{-3}$	$0,377 \cdot 10^{-4}$	0,102	$0,034 \cdot 10^{-4}$
1 kWh	$3,60 \cdot 10^6$	1	860	1,36	$0,367 \cdot 10^4$	0,123
1 kcal	$4,19 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	1	$1,58 \cdot 10^{-3}$	427	$0,14 \cdot 10^{-2}$
1 PS · h	$2,65 \cdot 10^4$	0,736	632	1	$0,27 \cdot 10^4$	$91 \cdot 10^{-3}$
1 kpm	9,81	$2,72 \cdot 10^{-4}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$	$3,70 \cdot 10^{-6}$	1	$0,34 \cdot 10^{-4}$
1 SKE ¹⁾	$29,31 \cdot 10^4$	8,15	$7 \cdot 10^3$	11	$2,99 \cdot 10^4$	1

¹⁾ SKE = Steinkohleneinheiten

die Dimensionen des Wärmeübergangskoeffizienten α , des Wärmedurchlaßkoeffizienten Λ , des Wärmedurchgangskoeffizienten k und der Wärmeleitfähigkeit λ , wie in Tafel 11 angegeben. (Entsprechend ändern sich natürlich auch der Wärmeübergangswiderstand $\frac{1}{\alpha}$ bzw. der Wärmedurchlaßwiderstand $\frac{1}{\Lambda}$.)

Tafel 11 Einige Einheiten aus dem Bereich des Wärmeschutzes

Größe	Einheit	
	neu	alt
Wärmeübergangskoeffizient α		
Wärmedurchlaßkoeffizient Λ	$\frac{W}{m^2 K}$	$\frac{kcal}{m^2 h ^\circ C}$
Wärmedurchgangskoeffizient k		
Wärmeleitfähigkeit λ	$\frac{W}{m K}$	$\frac{kcal}{m h ^\circ C}$
Umrechnung: $1 \frac{kcal}{m h ^\circ C} = 1,163 \frac{W}{m K}$		

6. Weitere bauphysikalische Größen

Ähnliche Umstellungen sind im gesamten Bereich der Bauphysik erfolgt. Als Beispiele seien hier aufgeführt die Wärmedehnung, deren Zahlenwert zwar gleich bleibt, die jedoch zukünftig in $m/(m \cdot K)$ oder in K^{-1} angegeben wird. Geändert haben sich auch die Einheiten des Wasserdampfdiffusionsdurchlaßwiderstandes von

$$\frac{h \cdot kp}{kg} \quad \text{in} \quad \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{kg}$$

des Wasserdampf-sättigungsdruckes von $\frac{kp}{m^2}$ in Pa

oder auch der Wasserdampfdiffusionsstromdichte von

$$\frac{g}{m \cdot h} \quad \text{in} \quad \frac{g}{m \cdot s}$$

Weitere Änderungen können dem sehr umfangreichen Tabellenwerk in [11, 12] entnommen werden.

7. Umstellung der Prüfmaschinen

Die Anwendung der SI-Einheiten erforderte auch eine entsprechende Umstellung der Betonprüfmaschinen. Maschinen mit einer Skaleneinteilung in t, Mp oder kp müssen in kN oder N, Prüf-

maschinen mit einer Skaleneinteilung in kp/cm^2 in N/mm^2 umgestellt werden. Je nach Prüfmaschinentyp ist eine einfache Umstellung wie folgt durchführbar:

Bei Prüfmaschinen mit Pendelmanometer brauchen lediglich die Massen der für die jeweiligen Lastbereiche vorhandenen Belastungsscheiben der Pendel dem Umstellungsverhältnis der Einheiten entsprechend erhöht zu werden. Die erforderlichen Massen für die Zusatzscheiben können selbst errechnet oder gemäß Mitteilung des Materialprüfungsamtes bei der Eichstelle erfragt werden, wenn dazu die genauen Massen der vorhandenen Pendelbelastungsscheiben und der Maschinentyp angegeben werden. Die Zusatzscheiben können entweder vom Prüfmaschinenhersteller bezogen werden oder in einer Werkstatt angefertigt werden. Bei der Meßskala muß bei der Umstellung von Mp auf kN oder kp auf N an die Zahlen der Meßskala eine Null angefügt werden, bei der Umstellung von kp/cm^2 auf N/mm^2 muß die letzte Stelle der ganzen Zahlen durch ein Komma abgetrennt werden.

Bei Prüfmaschinen mit Laufgewichten, wie z. B. der Prüfmaschine für die Ermittlung der Biegezugfestigkeit des Zements, genügt ebenfalls eine geringfügige Erhöhung des Laufgewichts, was z. B. durch Aufschweißen erfolgen kann. Die Meßskala kann dann ebenfalls, wie oben beschrieben, verändert und beibehalten werden. Hier besteht jedoch auch die Möglichkeit, anstelle der Änderung des Laufgewichts eine um 2 % verlängerte und mit neuen Zahlen versehene Skala anzubringen, da hier ein Austausch relativ problemlos ist.

Bei Prüfmaschinen mit Kraftmeßdosen und elektronischer Digitalanzeige braucht nur die elektronische Anzeige durch geringfügige Veränderung des entsprechenden Potentiometers umgestellt zu werden. Diese Korrektur sollte in der Regel durch einen Monteur bzw. Elektroniker des Prüfmaschinenherstellers durchgeführt werden.

Aufgrund der nicht gleichzeitigen Umstellung aller Normen auf die neuen Einheiten und der Eichung der Prüfgeräte können in der Prüfpraxis folgende Fälle vorkommen, für die jedoch bereits in [7] entsprechende Festlegungen getroffen worden sind:

1. Wenn die erforderliche Norm bereits auf SI-Einheiten umgestellt ist und die Pressen geeicht sind, ist der endgültige Zustand erreicht, d. h. die Anforderungen sind in neuen Einheiten gestellt, und die Ergebnisse werden in neuen Einheiten erhalten.
2. Wenn die Norm bereits auf SI-Einheiten umgestellt, die Prüfmaschine jedoch noch nicht neu geeicht ist, müssen die Prüfergebnisse, die in alten Einheiten ermittelt werden, mit den genauen Faktoren umgerechnet werden, z. B. bei der Umrechnung von kp/cm^2 in N/mm^2 mit dem Faktor 0,0981. Die so umgerechneten Meßwerte müssen dann den bereits in den neuen Einheiten festgelegten Anforderungen genügen.
3. Sind die Anforderungen in der Norm noch nicht auf die neuen Einheiten umgestellt, ist jedoch die Prüfmaschine schon geeicht,

dann dürfen die Festlegungen in der noch nicht umgestellten Norm mit in den Ergänzenden Bestimmungen des ETB-Erlasses [7] festgelegten vereinfachten Faktoren umgerechnet werden (Tafel 12), z. B. mit dem Faktor 10 statt 9,81 bei der Umrechnung von kp in N. Die so errechneten Werte sind dann maßgebend für die bereits in den richtigen Einheiten ermittelten Meßwerte.

Tafel 12 Umrechnungsfaktoren für Einheiten-Beispiele, nach [7]

1 kp	= 0,01 kN
1 kp/cm ²	= 0,1 MN/m ²
1 kpm	= 0,01 kNm
1 kcal	= 4,2 kJ
1 kcal/h	= 1,163 W
1 PS	= 0,74 kW

4. Sind sowohl die Anforderungen in der Norm als auch die Prüfmaschine noch nicht auf die SI-Einheiten umgestellt, dürfen wie im Fall 3 die genannten Festlegungen in der Norm wiederum mit den vereinfachten Faktoren umgerechnet werden, während die gemessenen Werte wie im Fall 2 durch Multiplikation mit den genauen Umrechnungsfaktoren ermittelt werden müssen.

8. Zusammenfassung

8.1 Ab 1.1.1978 gelten im *geschäftlichen und amtlichen Verkehr* in allen Mitgliedstaaten der EG die SI-Einheiten, bestehend aus den SI-Basiseinheiten und den daraus abgeleiteten SI-Einheiten. Daneben dürfen auch entsprechende durch Vorsatz (Zehnerpotenz oder entsprechende Buchstabenbezeichnung für eine Zehnerpotenz) erweiterte Einheiten verwendet werden. Die für die Bundesrepublik Deutschland geltenden Einheiten sind allgemein in DIN 1301: Einheiten; Teil 1 – Einheiten-namen, Einheitenzeichen – und Teil 2 – Allgemein angewendete Teile und Vielfache – festgelegt. Für die auf dem Gebiete des Bauwesens zu verwendenden Einheiten gilt zur Zeit DIN 1080: Begriffe, Formelzeichen und Einheiten im Bauingenieurwesen, Teil 1 – Grundlagen.

8.2 Die im Bauwesen wesentlichen Änderungen sind der Übergang von

kp	→ N	(für die Kraft)
kp/cm ²	→ N/mm ²	(für Stoffeigenschaften, wie z. B. Festigkeit oder E-Modul)
kp/cm ²	→ MN/m ²	(für Spannungen oder E-Modul in der Statik)
cal	→ J	(Arbeit, Energie und Wärmemenge)
cal	→ W	(Leistung, Energie und Wärmestrom).

- 8.3 Für die Normen im Bauwesen, die bis zum 1. 1. 1978 noch nicht umgestellt werden konnten, hat der Ausschuß für Einheitliche Technische Baubestimmungen (ETB) zusammen mit den betroffenen Fachbereichen des Normenausschusses Bauwesen „Ergänzende Bestimmungen“ erarbeitet. Darin sind entsprechende Übergangsregelungen festgelegt. Dies gilt sinngemäß auch für bauaufsichtlich zugelassene Baustoffe und Baustoffe mit Prüfzeichen.
- 8.4 Genormte Festlegungen in noch nicht umgestellten Normen sind mit in den Ergänzenden Bestimmungen festgelegten gerundeten Faktoren, Ergebnisse, die mit bis jetzt noch nicht umgestellten Prüfanlagen ermittelt werden, mit den genauen Werten in die neuen Einheiten umzurechnen.

SCHRIFTTUM

- [1] Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 2. Juli 1969. Bundesgesetzblatt 1969, Teil I, Nr. 55, S. 709, und 1973, Teil I, S. 720.
- [2] Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 26. Juni 1970. Bundesgesetzblatt 1970, Teil I, Nr. 62, S. 981.
- [3] Winter, F. W.: Die neuen Einheiten im Meßwesen. Verlag W. Girardet, Essen 1973.
- [4] Goffin, H.: SI-Einheiten in der Baupraxis. beton 27 (1977) H. 12, S. 463.
- [5] Drath, P.: Neue Ausgabe der Normen über Einheiten. DIN-Mitteilungen 57 (1978) Nr. 3, S. 161/164.
- [6] Streckler, A.: Gesetzliche Einheiten und DIN-Normen. DIN-Mitteilungen 56 (1977) Nr. 2, S. 76/77.
- [7] Ergänzende Bestimmungen zu DIN-Normen im Bauwesen und im Wasserwesen, die noch nicht auf gesetzliche Einheiten umgestellt worden sind. Fassung Dezember 1977, Beuth-Verlag GmbH, Köln 1977.
- [8] Dörr, G., und W. Schmidt: Die gesetzlichen Maßeinheiten und ihre Anwendung. DEW-Technische Berichte (Deutsche Edelstahl-Werke) 13 (1973) H. 1, S. 3/10.
- [9] Ludwig, N., und R. Menger: Empfehlung zur Einführung der Kräfteinheit Newton. DIN-Mitteilungen 50 (1971) H. 7, S. 319.
- [10] Schneider, H.-O.: Zur Bemessung im Stahlbetonbau unter Verwendung der SI-Einheiten. Betonwerk+Fertigteile-Technik 43 (1977) H. 11, S. 573/576.
- [11] Brandt, J., R. Krieger und H. Moritz: Wärmeschutz im Winter. 2. verbesserte Auflage 1978, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf.
- [12] Krieger, R.: Bauphysikalische Kennwerte; Vorschlag der Bauberatung Zement Köln, Ausgabe 11/77.