

目前德國聯邦的木材使用量少於生長量，木材總生長量6000萬（60 Mio.） m^3 而平均幹材伐採量僅4000萬（40 Mio.） m^3 而已。（表2）

表2 德國森林內木材生長量及利用情形(平均值/年)

	每公頃林地面積	全部林地面積
木材生長量	6.0 m^3	6000萬(60 Mio.) m^3
木材使用量(伐採量)	4.0 m^3	4000萬(40 Mio.) m^3
木材碳素儲蓄增加量	0.5噸C	500萬(5 Mio.)噸C
CO ₂ 等量	1.87噸CO ₂	1870萬(18.7 Mio.)噸CO ₂

因此，每年有420萬（4.2Mio.）噸碳素儲蓄在木材內部，亦即660萬（6.6 Mio.）噸碳素結合在立木生物量中；此時並未考慮其它地被植物腐植質及林地的碳素儲蓄。此外，擴大農地造林面積亦可增加碳素的儲蓄（德國每年約有5444ha）。

◎木製品當作碳素的儲蓄者

使用年限較長的各種林產品，在建築物或各種木製品，以現階段所使用的木製品來換算，碳素儲蓄量達340 Mio.t，推算出來相當於1250 Mio.t的CO₂。（表3）

表3 木材使用及其促使CO₂減少量（1噸約為2 m^3 木材，相當於3.6噸CO₂）

	木材質量 (Mio.t)	譯者備註
35 Mio.戶住家，每戶擁有2噸木質家具或木質內裝材料	70	2 t × 35 Mio. = 70 Mio.t
17 Mio.棟獨棟式或雙拼式住家，每戶擁有25 m^3 (=15t，比蓋以0.6計算)木質建材(窗檯、牆壁、天花板、地板)	255	15 t × 17 Mio. = 255 Mio.t
2.75 Mio.雙戶式公寓式住家，每戶擁有40 m^3 (=30t，比蓋以0.75計算)木質建材	85	30 t × 2.75 Mio. = 85 Mio.t
戶外用木材(籬笆、遊憩、藝藝等)、枕木、電桿	80	
公共場所及工業建築物的木質建材和裝飾材	100	
木質包裝材料	10	
木材的紙製品(書籍、報紙、包裝材料等)	50	
在製程中及儲蓄狀態之半成品	15	
合計	665	
碳素的結合	340	665 Mio.t × 0.5 t = 340 Mio.t
CO ₂ 等量	1250	340 Mio.t × 3.6 = 1224 Mio.

在比較 CO₂ 的排放量方面，德國於 1987 年估計為 1064 Mio.t，至 1990 年降為 997 Mio.t；政府期盼目標在 2005 年能降到 798 Mio.t。（表 4）。

表 4 德國 CO₂ 污染的發展過程

	德國 CO2 排放量 (Mio.t)
1987 年	1,064
1990 年	997
2005 年 (聯邦政府的目標)	798

◎將木材作為能源使用，可以減少 CO₂ 的衝擊

在相同的能源效率之下，木材與石化原料相比較，很明顯地木材的 CO₂ 排放量較少：在比較等量熱值時，燃料油 229kg（相當於木材 1000kg）全部的 CO₂ 排放量為 1023kg，而木材僅為 66.4kg（表 5）；因此為碳素在木材中是循環存在的，故僅於木材在加工製造過程時才會有 CO₂ 之排放。

木材當作能源的提供者，估算每年將有 20 Mio.t，其中 6-8 Mio.t 來自森林，6-7 Mio.t 來自工業廢料，以及 6 Mio.t 來自老舊木質廢料。家庭用的能源至少 2 Mio.t 係由森林所提供，木材工業之能源需求約 40-60%，依賴木材 4 Mio.t 供給。

假如每年木材使用量為 20 Mio.t 木材，而絕乾木材之平均能源量為 8750 MJ/fm（1 rm=0.7，fm：實質材積 m³，rm：層積材積 m³），其中估計 6 Mio.t 來源為老舊木材之供給，估計足以取代 20% 的石化能源，如此一來 CO₂ 的衝擊亦減少了 2%。所以，假設能回收不再需要之木製品（老舊木質材料製品）充作能源原料（目前老舊廢棄木材僅部份作為腐植質有機肥料或無謂焚毀）則更能減少 CO₂ 之衝擊。

表 5 木材與燃料油燃燒之 CO₂ 污染之比較（1 噸木材相當於 229 公斤燃料油）

燃料種類	木材	燃料油
燃料量	1000kg	229kg
熱值	11.9 MJ/kg ¹⁾	42.7 MJ/kg
作用效率	70% ²⁾	85%
準備工作（加工過程）	伐採、運輸、摺切	開採、運輸、精煉
準備工作所需能源	0.34 MJ/kg	10.9 MJ/kg
被釋放淨值	18.1 kg 來自木材加工過程， 0 kg 來自木材	65.6 kg 來自燃料油的乾燥過程 213.6 kg 來自燃料油
碳素全部之釋放量	18.1 kg	279.2 kg
CO ₂ 全部釋放量	66.4 kg	1023 kg

¹⁾ 注意其他文獻用絕乾狀態計算熱值 17.5 MJ/kg
²⁾ 現代化取膠設備有較高的熱效率

◎使用木材可以節省能源

木材與其它各種建材比較起來，其有絕佳的隔熱性質；因此由木材及其他建築材料結合起來的結構，特別適合於節省能源的建築方式，再利用或是繼續應用而言，使用壽命延長因而促使碳素固定，以及維持原有狀態繼續有價值的使用，亦即促使 CO₂ 減量更延長。

◎永續經營理念下延長木材的利用

木材的利用在類似完全永續經營理念下，德國可以提供木材生長量與使用量的差額（17.5 Mio.m³/年）；附帶的，木材利用可以取代非木製品及石化能源，17.5 Mio.m³的林木保留在林地與碳素結合，如此一來就有減少 16.4 Mio t CO₂ 的量（表 6）即 $17.5 \text{ Mio.m}^3 \times 0.395 \text{ t} = 16.4 \text{ Mio t CO}_2$ 。值得注意的，是全部的森林蓄積量不可以任意保持偏高水準的蓄積，因為留存在森林內部的林木會腐朽而釋放 CO₂。相反地，若每年將利用 17.5 Mio.m³ 木材，因其製造成林產品便可以減少 CO₂ 的量：假設原木利用率為 50%，林產品可以儲蓄 2.3 Mio t 的碳素，（ $17.5 \text{ Mio.m}^3 \times 50\% \times 0.255 \text{ t} = 2.3 \text{ t}$ ），CO₂ 的減少量為 8.2 Mio t，（ $17.5 \text{ Mio.m}^3 \times 50\% \times 0.935 \text{ t} = 8.18 \text{ t}$ ）；林產加工廢料及使用後的老舊木材供為燃料用能夠取代石化能源原料。如此一來，碳素主貯在石化能源原料內（CO₂ 的可減少量 5.8 Mio t）。

CO₂ 減量之潛力在木材利用狀態約 3.4 Mio t，大於木材留存在森林內的狀態（表 6）

表6 木材淨生長的利用潛力相對可以減少CO₂的量

木材生長量與當今用量的差異 (留存林地)	CO ₂ 減少量 Mio.t	木材利用量 (砍伐利用)	CO ₂ 減少量 Mio.t
1.75 Mio.m ³ /年	16.4	8.75 Mio.m ³ 林產品之林木製造與使用	8.2
		木材廢料及林產品製造過程中作為能源 利用 (以取代石化能源原料)	5.8
合計	16.4		19.8
差額		3.4 Mio.t CO ₂	

總結：木材無論是留存在森林裡面，或將其當作原料、建材或材料對碳素的結合及CO₂量的平衡是一項重要的因素；能源政策的目標不僅在保持高水準的木材蓄積量，而且也應該加強木材的利用，以降低 CO₂ 之衝擊。

左圖中建築物需要大約 50 m^3 木造建，可以儲藏約 12.5 t 的碳素（即 $50 \text{ m}^3 \times 0.255 \text{ t}$ ），相當於 45 t 的 CO_2 量（即 $50 \text{ m}^3 \times 0.935 = 46.75 \text{ t}$ ），維持一百年之久。右圖就一戶獨棟式家庭而言，使用 3000 kg 的燃料油釋放 13 t 的 CO_2 ($\text{CO}_2 = \frac{3000 \times 1023}{299} \approx 13 \text{ t}$)，若改用 22 m^3 層積材積的燃料材取代之，則燃料材可取代石化能源原料僅釋放 0.6 t 的 CO_2 （比較表 5）。〔即 $22 \text{ m}^3 \times 0.8 = 17.6 \text{ m}^3$ 的實質材積， $17.6 \text{ m}^3 \times 0.5$ （比重）= 8.8 t， $8.8 \text{ t} \times 0.0664 \approx 0.58 \text{ t}$ 〕。



註解：據作者來源說明如下：

1t（噸）木材含 0.5t 的 C；比重以 0.5 計算， 2 m^3 木材 = 1t 木材。

$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ，C=12，O=16

分子量 12+32 → 44

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{C}} = \frac{44}{12} = 3.6$$

$1 \text{ t C} + 2.6 \text{ t O}_2 = 3.6 \text{ t CO}_2$

$1 \text{ kg C} + 2.6 \text{ kg O}_2 = 3.6 \text{ kg CO}_2$

1t 木材 ≈ 3.6t CO_2

1 m^3 木材(0.5t) ≈ 1.8t CO_2

1t 木材 ≈ 0.5t C，即木材約含 50% C 元素。

譯者：依據生物新陳代謝時，光合作用與呼吸作用的平衡循環



綠色植物利用陽光將二氧化碳及水合成葡萄糖，並釋放氧氣，如此提供新鮮空氣；林木生長吸收二氧化碳的同時，亦產生同量的氧氣。如此可以假設生長 1t 木材吸收 3.6t CO_2 ，使產生 3.6t O_2 ； 1 m^3 木材吸收 1.8t CO_2 ，使產生 1.8t O_2 （比重以 0.5 計算）。比重越大的木材，吸收 CO_2 的量越多。