

# Tabellenanhang

zum

## Lexikon waldschädigende Luftverunreinigungen und Klimawandel

(<http://www.luftschaedstoffe.at>)

- (1) Grenzwerte (Gase, Depositionen)
- (2) Grenzwerte (Böden)
- (3) Grenzwerte (Blattorgane)
- (4) Umweltschutzgesetze (Deutschland, Schweiz)
- (5) Resistenzreihen (Bäume)

Zusammengestellt von Stefan Smidt

Bundeforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren  
und Landschaft

September 2011



## Inhaltsverzeichnis

Zehnerpotenzen, Masse- und Energieeinheiten .....	7
(1) GRENZWERTE (Gase, Depositionen) .....	9
Emissionsbegrenzung (EU; Österreich) .....	11
Phytotoxische Konzentrationen .....	12
Ammoniak-Immissionsgrenzwerte (1) .....	13
Ammoniak-Immissionsgrenzwerte (2) .....	14
Ethen- und Formaldehyd-Immissionsgrenzwerte (ÖAW).....	15
Ozon-Immissionsgrenzwerte (nicht AOT40-basiert) (1) .....	16
Ozon-Immissionsgrenzwerte (nicht AOT40-basiert) (2) .....	17
Ozon-Immissionsgrenzwerte (AOT40-basiert) .....	18
Ozon-Immissionsgrenzwerte (3. Tochterrichtlinie).....	19
HF-, HCl- und PAN-Immissionsgrenzwerte.....	20
Fluorwasserstoff-Immissionsgrenzwerte .....	21
SO <sub>2</sub> -, NO <sub>x</sub> - und O <sub>3</sub> -Immissionsgrenzwerte (Österreich).....	22
SO <sub>2</sub> -, NO <sub>x</sub> -, O <sub>3</sub> - u.a. Immissionsgrenzwerte (Österreich).....	23
Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (1) .....	24
Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (2; UN-ECE, WHO) .....	25
Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (3) .....	26
Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (4) .....	27
Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (5) .....	28
Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (6) .....	29
NO <sub>x</sub> -Immissionsgrenzwerte (1) .....	30
NO <sub>x</sub> -Immissionsgrenzwerte (2) .....	31
Staub-Immissionsgrenzwerte (Österreich, Schweiz) .....	32
IW1 / IW2, MIK- und MAK-Grenzwerte (Deutschland).....	33
MAK-Werte (Deutschland).....	34
Grenzwerte TA-Luft (2002; Deutschland).....	35
Air Quality Guidelines (Europe) .....	36
Air Quality Standards (US-EPA).....	37
Air Quality Standards (EU) (1).....	38
Air Quality Standards (EU) (2).....	39
Air Quality Standards (EU) (3).....	40
Critical Loads (Säure und Eutrophierung) .....	41
Critical Loads (Eutrophierung) (1) .....	42
Critical Loads (Eutrophierung) (2) .....	43
Grenzwerte Bundesimmissionsschutzverordnung (DE).....	44
Grenzwerte Schweizerische Luftreinhalteverordnung.....	45
Luftgüte- und Luftqualitätsindices.....	46
(2) GRENZWERTE (Böden).....	47
Mineralstoffgehalte (Boden, Phytomasse) .....	49
Alkalinität .....	50
Azidität.....	51
Boden-pH-Wert.....	52
Boden-Pufferbereiche.....	53
Kationenaustauschkapazität, Basensättigung .....	54
Basensättigungsgrad und pH-Wert .....	56

Basen-Säure-Verhältnis (Ca/Al-Verhältnis).....	57
Nitratauswaschungsgefahr .....	59
Tolerierbare Konzentrationen in der Bodenlösung.....	60
Anionenhaushalt.....	61
Säurebelastbarkeit, Faktoren der Bodenversauerung .....	62
Stickstoffstatus in Koniferenbeständen .....	63
Schwermetalleinträge .....	64
Schwermetall-Konzentrationen im Boden (1).....	65
Schwermetall-Konzentrationen im Boden (2).....	66
Schwermetall-Konzentrationen im Boden (3).....	67
Critical Levels / Loads für Schwermetalle .....	68
Grenzwerte für Schwermetalle im Boden.....	69
Kritische Pb- und Cd-Konzentrationen im Boden (1) .....	70
Kritische Pb- und Cd-Konzentrationen im Boden (2) .....	71
Kritische Cu- und Zn-Konzentrationen im Boden.....	72
Elementgehalte in Böden .....	73
Elementgehalte in Böden, Transferkoeffizienten, kritische Werte.....	74
Schwermetall-Grenzwerte für Waldböden (Mikroben) .....	75
Natürliche und kritische Schwermetallkonzentrationen im Boden .....	76
Cu-, Zn-, Cd- und Pb-Grenzwerte für Bodenwasser .....	76
(3) GRENZWERTE und ELEMENTGEHALTE (Blattorgane).....	77
Grenzwerte für Blattorgane (Forstverordnung) .....	79
Schadstoffgrenzwerte für Fichten- und Kiefernadeln .....	80
Nähr- und Schadstoffgrenzwerte für Kiefernadeln .....	81
Nährstoffgrenzwerte für Fichtennadeln .....	82
Nährstoffgrenzwerte für Fichten-, Kiefern- und Tannennadeln (1).....	83
Nährstoffgrenzwerte für Fichten-, Kiefern- und Tannennadeln (2).....	84
Mangelgehalte für Fichtennadeln .....	85
Pb- und Cd-Grenzwerte für Fichtennadeln.....	86
Nähr- und Schadstoffgrenzwerte für Buchenblätter .....	87
Pb- und Cd-Grenzwerte für Fichtenborken .....	88
Nährstoffgrenzwerte (Klassen, UN - ECE) .....	89
Nährstoffquotienten (Fichtennadeln) .....	90
Mikronährstoffgehalte in Pflanzen .....	91
Mikroelementgehalte in Baumkompartimenten .....	92
Mikronährstoffgehalte in Fichtennadeln und - zweigen .....	93
Kohlenstoffgehalte von Hölzern .....	94
Elementgehalte in Gefäßpflanzen und Fichtennadeln .....	95
Elementgehalte in Fichten und Buchenkompartimenten.....	96
Biochemische Parameter .....	97
Biochemische Schadindices, biochemische Parameter (1) .....	98
Biochemische Schadindices, biochemische Parameter (2) .....	99
Biochemische Schadindices, biochemische Parameter (3) .....	100
Beurteilung der Stomatawachse (Fichtennadeln) .....	101
Schwermetallgrenzwerte (Pflanzen).....	102
Schwermetallgrenzwerte (Klärschlämme, Komposte) (1) .....	103
Schwermetallgrenzwerte (Klärschlämme, Komposte) (2) .....	104
(4) UMWELTSCHUTZGESETZE (Deutschland, Schweiz).....	105
Umweltgesetze (Deutschland) - Überblick .....	107
Bundesimmissionsschutzgesetz (Deutschland) (1) .....	108
Bundesimmissionsschutzgesetz (Deutschland) (2) .....	109

Bundesimmissionsschutzgesetz (Deutschland) (3) .....	110
Bundeswaldgesetz (Deutschland) (1) .....	111
Bundeswaldgesetz (Deutschland) (2) .....	112
Umweltverträglichkeitsprüfung (Deutschland).....	113
Umweltinformationsgesetz (Deutschland).....	114
Umweltschutzgesetz (Schweiz) (1) .....	115
Umweltschutzgesetz (Schweiz) (2) .....	116
Umweltschutzgesetz (Schweiz) (3) .....	117
Umweltschutzgesetz (Schweiz) (4) .....	118
Umweltschutzgesetz (Schweiz) (5) .....	119
(5) RESISTENZREIHEN (Bäume) .....	121
Resistenzvergleiche .....	123
Resistenzreihe (Ammoniak) .....	124
Resistenzreihe (Chlorwasserstoff) .....	125
Resistenzreihe (Fluorwasserstoff).....	126
Resistenzreihen (Ozon) (1) .....	127
Resistenzreihe (Ozon) (2) .....	128
Resistenzreihe (Ozon) (3) .....	129
Resistenzreihe (PAN) .....	130
Resistenzreihe (Schwefeldioxid) .....	131
Resistenzreihe (Schwefeldioxid) für Begrünung .....	132
Resistenzreihen (Stickstoffoxide) (1).....	133
Resistenzreihen (Stickstoffoxide) (2).....	134
Resistenzreihen (Bodenversalzung) .....	135



# Zehnerpotenzen, Masse- und Energieeinheiten

## Zehnerpotenzen

$10^0 = 1$	
$10^1 =$ Deka, Zehn, <b>da</b>	$10^{-1} =$ Zehntel, deci, <b>d</b>
$10^2 =$ Hekto, Hundert, <b>h</b>	$10^{-2} =$ Hundertstel, zenti, <b>c</b>
$10^3 =$ Kilo, Tausend, <b>k</b>	$10^{-3} =$ Tausendstel, milli, <b>m</b>
$10^6 =$ Millionen, Mega, <b>M</b>	$10^{-6} =$ Millionstel, mikro, <b>μ</b>
$10^9 =$ Milliarden, Giga, <b>G</b>	$10^{-9} =$ Milliardstel, nano, <b>n</b>
$10^{12} =$ Billionen, Tera, <b>T</b>	$10^{-12} =$ pico, <b>p</b>
$10^{15} =$ Billiarden, Peta, <b>P</b>	$10^{-15} =$ femto, <b>f</b>
$10^{18} =$ Trillionen, Exa, <b>E</b>	$10^{-18} =$ atto, <b>a</b>
$10^{21} =$ Zetta, <b>Z</b>	$10^{-21} =$ zepto, <b>z</b>
$10^{24} =$ Yotta, <b>Y</b>	$10^{-24} =$ yocto, <b>y</b>

## Masse-Einheiten

$10^3$ g	1 kg			
$10^6$ g	$10^3$ kg	1 Mg	1 t	
$10^9$ g	$10^6$ kg	1 Gg	1 kt	1000 t
$10^{12}$ g	$10^9$ kg	1 Tg	1 Mt	1 Mio. t
$10^{15}$ g	$10^{12}$ kg	1 Pg	1 Gt	1 Mrd. t

## Energieeinheiten

	kJ	kcal	kWh	Kg SKE	kg RÖE	m <sup>3</sup> Erdgas
1 Kilojoule (1KJ = 1000 Ws)	1	0,2388	0,000278	0,000034	0,000024	0,000032
1 Kilokalorie (kcal)	4,1868	1	0,001163	0,000143	0,0001	0,00013
1 Kilowattstunde (kWh)	3.600	860	1	0,123	0,086	0,113
1kg Steinkohleneinheit (SKE)	29.308	7.000	8,14	1	0,7	0,923
1 kg Rohöleinheit (RÖE)	41.868	10.000	11,63	1,428	1	1,319
1 m <sup>3</sup> Erdgas	31.736	7.580	8,816	1,083	0,758	1

## Konzentrationseinheiten

### Konzentrationseinheiten.

		Einheit	Anmerkung
<b>Gase</b>	Volumen - Mischungsverhältnis	ppm <sub>v</sub> : parts per million = 1 : 1.000.000 ppb <sub>v</sub> : parts per billion = 1 : 1.000.000.000 ppt <sub>v</sub> : parts per trillion = 1 : 1.000.000.000.000  μl l <sup>-1</sup> = ppm nl l <sup>-1</sup> = ppb pl l <sup>-1</sup> = ppt	druckunabhängig, dimensionslos
	Massen - Mischungsverhältnis	ppb <sub>m</sub> ppb <sub>m</sub> ppt <sub>m</sub>	druckunabhängig, dimensionslos
	Flächengewicht	z. B. mg SO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> Luftsäule	
	Masse pro Flächeneinheit und Zeit (Depositionsrate bzw. Immissionsrate)	z. B. mg SO <sub>3</sub> dm <sup>-2</sup> (28 Tage) <sup>-1</sup>	
<b>Gase</b> Aerosole Stäube	Massenkonzentration (Masse pro Volumseinheit)	mg m <sup>-3</sup> , μg m <sup>-3</sup>	druckabhängig
<b>Absetz - stäube</b> nasse Absetz - depositionen	Masse pro Flächeneinheit und Zeit	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> g m <sup>-2</sup>	
<b>Stäube</b>	Zahl der Staubpartikel pro Luftvolumen	m <sup>-3</sup>	
<b>nasse Deposi - tionen</b>	Element - bzw. Ionenkonzentrationen im Regen / Schnee / Nebel	mg Ion bzw. Element pro Liter	

## **(1) GRENZWERTE (Gase, Depositionen)**

Grau unterlegt: Gesetzliche Grenzwerte für Österreich, Deutschland und die Schweiz, die (auch) zum Schutz der Vegetation bzw. der Ökosysteme vorgesehen sind



## Emissionsbegrenzung (EU; Österreich)

Internationale Grundlagen zur Verminderung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon sind das **Göteborg-Protokoll** 1999 („Protokoll zur Verminderung der Versauerung, Eutrophierung und des bodennahen Ozons“; es trat 2005 in Kraft und war bis 2010 zu erreichen; Österreich wurde 2005 Vertragspartei dieses Protokolls, der Vertrag ist jedoch noch nicht ratifiziert. Es wurden absolute Emissionsgrenzen festgesetzt. Die Konvention hat derzeit [4/2007] insgesamt 51 Vertragsparteien [50 Staaten sowie die EU]) und die **NEC-Richtlinie** (National Emission Ceilings, 2001/81/EG) legt verbindliche Emissionshöchstgrenzen bis 2010 fest.

Mit dem **Emissionshöchstmengengesetz-Luft** wurden die obengenannten Bestimmungen in nationales Recht umgesetzt. Die Ziele (Emissionshöchstmengen) der NEC-Richtlinie wurden im Emissionshöchstmengengesetz-Luft (EG-L, BGBl. I 2003/34) verankert; das Gesetz trat 2003 in Kraft und legt die Emissionshöchstgrenzen für die versauernden Substanzen und Ozonvorläufer fest (Tabelle).

**Ziele gemäß NEC-Richtlinie und Göteborg-Protokoll (Tonnen) sowie Emissionen in Österreich 2008 (Umweltbundesamt 2010). Weiterer Reduktionsbedarf besteht auf dem Stand von 2008 somit v. a. bei NO<sub>x</sub> und bei den NMVOC.**

Gelb unterlegt: Emissionen in Österreich überschritten 2008 die Grenzwerte der NEC-Richtlinie

	Göteborg-Protokoll	NEC-Richtlinie EG-L für 2010	Ziele Ozongesetz ab 2006	Emissionen 2008
SO <sub>2</sub>	39.000	39.000 *)	-	22.440
NH <sub>3</sub>	66.000	66.000	-	62.830
NO <sub>x</sub>	107.000	103.000	65.000	206.900
NMVOC	159.000	159.000	100.000	163.370

Umweltbundesamt 2010: Emissionstrends 1990-2008. Datenstand 2010. Report REP-0285.

## Phytotoxische Konzentrationen

### Phytotoxisch wirksame Konzentrationen von Spurengasen (Richtwerte; ppb).

Komponente	Chronische Wirkungen	Akute Wirkungen
Fluorwasserstoff	0,1 - 0,5	1 - 5
Peroxyacetylnitrat		10 - 20
Ozon		25 - 40
Schwefeldioxid	5 - 10	70
Ethen	10 - 50	50
Chlor		100
Chlorwasserstoff	30	100
Stickstoffdioxid	100	600
Ammoniak	150	1000

Posthumus A.C. 1991: Effects of air pollution on plants and vegetations. In: Rozema J., Verkleij J.A.C. (eds.) Ecological responses to Environmental Stress, Chapter 17, 191-198. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

## Ammoniak-Immissionsgrenzwerte (1)

### NH<sub>3</sub>-Grenzwerte für gasförmige Luftverunreinigungen zum Schutz der Vegetation

Römische Ziffern: Monate.

	Beurteilungszeitraum					Vegetations- periode (Monatsmittel)	Jahr	
	0,5h	1h	8h	24h				
	$\mu\text{g m}^{-3}$							
	<b>Gesetzliche Grenzwerte (Österreich)</b>							
Zweite VO gg. forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984)  Gesetzlicher Grenzwert  <i>Schutzgut: Forstliche Kultur</i>	I-XII: 300  IV-X: 300 für Bestände, in denen der Anteil der Nadelbaumarten insgesamt 5 % nicht erreicht und der Anteil an Tanne weniger als 2 % beträgt			I-XII: 100  IV-X: 100 für Bestände, in denen der Anteil der Nadelbaumarten insgesamt 5 % nicht erreicht und der Anteil an Tanne weniger als 2 % beträgt				
	<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte</b>							
UN-ECE 1992  <i>Schutzgut: gesamte Vegetation</i>		3.300		270	Monatsmittel: 23		8	
WHO 2000  <i>Schutzgut: Vegetation</i>	(270)  („insufficient data to provide these levels with confidence“)						8	

UN-ECE 1992: Workshop Egham.

WHO (World Health Organization) 2000: Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO regional Publications, European Series, No. 91.

## Ammoniak-Immissionsgrenzwerte (2)

**Critical Levels (wirkungsbezogene Grenzwerte) für NH<sub>3</sub> (Fangmeier et al. 1994, modifiziert).**

NH <sub>3</sub> -Konzentration µg m <sup>-3</sup>	Einwirkungszeit	Originalliteratur
300	1 Jahr	Van Haut et al. (1979)
10000	1 Stunde	Van der Eerden (1982)
600	1 Tag	
75	1 Jahr	
10000	1 Stunde	Posthumus in UN-ECE (1988)
600	1 Tag	
100	1 Jahr	
3300	1 Stunde	Van der Eerden et al. (1991)
270	1 Tag	
23	1 Monat	
8	1 Jahr	
276	1 Tag	Van der Eerden et al. (1998)
20-50	1 Monat	

Fangmeier A., Hadwiger-Fangmeier A., van der Eerden L., Jäger H.-J. 1994: Effects of atmospheric ammonia on vegetation—a review. *Environmental Pollution* 86, 43–82.

UN-ECE 1988 : Proc. ECE Critical Levels Workshop, Bad Harzburg, 14–18 March 1988.

Van der Eerden, L.J.M. 1982: Toxicity of ammonia to plants. *Agriculture and Environment* 7, 223–235.

Van der Eerden, L.J.M., Dueck, T.A., Berdowski, J.J.M., Greven, H., Van Dobben, H.F. 1991: Influence of NH<sub>3</sub> and (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on heathland vegetation. *Acta Botanica Neerlandica* 40, 281–297.

Van der Eerden L.J.M., de Visser P.H.B., Van Dijk C.J. 1998: Risk of damage to crops in the direct neighbourhood of ammonia sources. *Environmental Pollution* 102, 49–53.

Van Haut H., Prinz B., Hockel F.E. 1979: Ermittlung der relativen Phytotoxizität von Luftverunreinigungen im LIS-Kurzzeittest mit verschiedenen organische Komponenten und Ammoniak. *Schriftenr. LIS* 49, 29–65.

WHO (World Health Organization) 2000: Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Publication Series, European Series No. 19.

## Ethen- und Formaldehyd-Immissionsgrenzwerte (ÖAW)

**Wirkungsbezogene Grenzwerte für Ethen und Formaldehyd  
(Jahresmittelwerte für gasförmige Luftverunreinigungen zum Schutz der Vegetation).**

<b>Ethen</b>	
Österreichische Akademie der Wissenschaften 1996 <i>Schutzgut: Vegetation</i>	9 ppb bzw. 10 µg m <sup>-3</sup>

<b>Formaldehyd</b>	
Österreichische Akademie der Wissenschaften 1996 <i>Schutzgut: Vegetation</i>	16 ppb bzw. 20 µg m <sup>-3</sup>

Österreichische Akademie der Wissenschaften 1996: Luftqualitätskriterien VOC. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.

## Ozon-Immissionsgrenzwerte (nicht AOT40-basiert) (1)

Grenzwerte für Ozon zum Schutz der Vegetation. Römische Ziffern: Monate.

	Bezugszeitraum				Vegetationsperiode (Monate)
	0,5h	1h	8h	24h	
	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	
<b>Gesetzliche Grenzwerte (Schweiz)</b>					
Schweizerische Luftreinhalteverordnung 1985  Gesetzlicher Grenzwert  <i>Schutzgut: Mensch, Tiere, Pflanzen</i>	100 (98-Perzentil)	120  darf höchstens 1x pro Jahr überschritten werden			
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte</b>					
WHO 1987 (Leitwert) <i>Schutzgut: Vegetation</i>		200		65	60
VDI 1989  <i>Schutzgut: Vegetation</i>	800 480 320	480 320 160	320 160 90		weniger empfindliche Pflanzen empfindliche Pflanzen sehr empfindliche Pflanzen
Österr. Akademie der Wissenschaften 1989  <i>Schutzgut: Vegetation</i>	300	150	60		IV-X, 9.00 – 16.00: 60 (VMW7)
VDI 1989  <i>Schutzgut: Vegetation</i>	800 480 320	480 320 160	320 160 90		weniger empfindliche Pflanzen empfindliche Pflanzen sehr empfindliche Pflanzen

Österreichische Akademie der Wissenschaften 1989: Luftqualitätskriterien Ozon. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.

Schweizerisches Departement des Inneren 1985: Luftreinhalteverordnung.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 1989: Maximale Immissions-Werte zum Schutz der Vegetation ( $\text{O}_3$ ). VDI 2310, Blatt 6.

WHO (World Health Organization) 1987: Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, Kopenhagen.

## Ozon-Immissionsgrenzwerte (nicht AOT40-basiert) (2)

### Maximale Immissionswerte (wirkungsbezogene Grenzwerte) für Fluorwasserstoff ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

	0,5h-Mittelwert	1h-Mittelwert	4h-Mittelwert
sehr empfindlicher Pflanzen	300	150	50
weniger empfindlicher Pflanzen	1000	700	300

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 1983: Waldschäden und Luftverunreinigungen, Sondergutachten 1983 des SRU. Drucksache des Deutschen Bundestages Nr. 10 / 113.

Zitiert in: Schwill U. 1984: Zur Immissionsresistenz der Waldbaumarten. Allgemeine Forstzeitung, 1208-1211.

### Critical Levels (wirkungsbezogene Grenzwerte) für Ozon zum Schutz empfindlicher Pflanzen, Pflanzengesellschaften und Ökosysteme gegenüber Ozon als Einzelkomponente.

Begasungs- (Einwirkungs-)dauer (h)	ppb
0,5	150
1,0	75
2,0	55
4,0	40
8,0	30
Vegetationsperiode (7h-Mittel, 9.00 - 16.00)	25

UN-ECE Workshop Bad Harzburg, März 1988. Zitiert in: Derwent R.G., Grennfelt G., Hov O. 1991: Photochemical oxidants in the Atmosphere. Status report prepared for the Nordic Council of Ministers, Nord 1991:7, Copenhagen.

## Ozon-Immissionsgrenzwerte (AOT40-basiert)

### AOT40-Grenzwerte (verbindliche und wirkungsbezogene Grenzwerte) für Ozon zum Schutz der Vegetation.

	Vegetationsperiode
<b>Verbindliches Ziel und verbindlicher Zielwert</b>	
EU Richtlinie 2002/3/EG und Ozongesetz BGBl. 210/1992; 34/2003  <i>Schutzgut: Vegetation</i>	Zielwerte: AOT40, berechnet aus 1h-Werten von Mai bis Juli: 19.000 $\mu\text{g m}^{-3}\text{h}$ (gemittelt über 5 Jahre; zu erreichen bis 2010)  <u>Langfristiges Ziel:</u> AOT40, berechnet aus 1h-Werten von Mai bis Juli: 6.000 $\mu\text{g m}^{-3}\text{h}$
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte</b>	
UN-ECE 1996  <i>Schutzgut: landwirtschaftliche Nutzpflanzen und naturnahe Ökosysteme</i>	AOT40: 500 ppb h  5 aufeinanderfolgende Tage; während Tageslichtstunden mit einem Dampfdruckdefizit $\geq 1,5$ kPa (Mittel 9.30 – 16.30)
UN-ECE 1996  <i>Schutzgut: landwirtschaftliche Nutzpflanzen und naturnahe Ökosysteme</i>	AOT40: 200 ppb.h  5 aufeinanderfolgende Tage; während Tageslichtstunden mit einem Dampfdruckdefizit $\leq 1,5$ kPa (Mittel 9.30 – 16.30)
WHO 2000  <i>Schutzgut: Wälder</i>	AOT40: 10.000 ppb.h 6 Monate, Tageslichtstunden

### Auf dem AOT40 basierende Grenzwerte (gesetzliche bzw. wirkungsbezogene Grenzwerte) zum Schutz der Vegetation.

	Zeitfenster		Zielwert (ppm.h)
	<b>Gesetzliche Grenzwerte (EU / Österreich)</b>		
RL 2002/3/EG und Ozongesetz, Zielwert zum Schutz der Vegetation	Mai bis Juli	8.00 - 20.00 (MEZ)	9 gemittelt über 5 Jahre
RL 2002/3/EG und Ozongesetz, langfristiges Ziel zum Schutz der Vegetation	Mai bis Juli	8.00 - 20.00 (MEZ)	3
RL 2002/3/EG, Schutz des Waldes	April bis September	8.00 - 20.00 (MEZ)	10
	<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte</b>		
UN-ECE 1994 Schutz des Waldes	April bis September	Tageslichtstunden (ursprünglich 0.00 - 24.00)	10
UN-ECE 1994 Schutz landwirtschaftlicher Pflanzen	Mai bis Juli	Tageslichtstunden	3

UN-ECE 1994: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Hamburg and Prag.

UN-ECE 1996: Workshop Kuopio.

WHO (World Health Organization) 2000: Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Publication Series, European Series No. 19.

## Ozon-Immissionsgrenzwerte (3. Tochterrichtlinie)

### Verbindliche Zielwerte und Ziele für Ozon gemäß 3. Tochterrichtlinie (RL 2002/3/EG).

	Parameter	Zielwert	Zeitpunkt zum Erreichen des Ziels
<b>Zielwerte</b>			
Zielwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	120 $\mu\text{g m}^{-3}$ ; 25 zulässige Überschreitungen pro Kalenderjahr, gemittelt über 3 Jahre	2010 als erstes Bezugsjahr
Zielwert für den Schutz der Vegetation	AOT40, berechnet aus 1-Stundenmittelwerten von Mai bis Juli	18.000 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$ , gemittelt über 5 Jahre	2010 als erstes Bezugsjahr
<b>Langfristziel</b>			
Langfristziel für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	120 $\mu\text{g m}^{-3}$	Zeitziel 2020
Langfristziel für den Schutz der Vegetation	AOT40, berechnet aus 1-Stundenmittelwerten von Mai bis Juli	6.000 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ h}$	Zeitziel 2020
<b>Informations- und Alarmwert</b>			
Informationswert	1-Stundenwert	120 $\mu\text{g m}^{-3}$	
Alarmwert	1-Stundenwert	240 $\mu\text{g m}^{-3}$	

<http://www.lanuf.nrw.de/luft/immissionen/beurteilungsma/3tochter.htm>

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002L0003:20080611:DE:PDF>

## HF-, HCl- und PAN-Immissionsgrenzwerte

**Weitere Grenzwerte für gasförmige Luftverunreinigungen zum Schutz der Vegetation.**  
(grau unterlegt: gesetzliche Grenzwerte für Österreich). Römische Ziffern: Monate.

	Beurteilungszeitraum				Vegetationsperiode	Jahr
	0,5h $\mu\text{g m}^{-3}$	1h $\mu\text{g m}^{-3}$	8h $\mu\text{g m}^{-3}$	24h $\mu\text{g m}^{-3}$		
<b>Gesetzlicher Grenzwert (Österreich) für HF</b>						
Zweite VO gg. forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984)	IV-X: 0,9			IV-X: 0,5		
Gesetzlicher Grenzwert	IV-X: 6 für Bestände, in denen der Anteil der Nadelbaumarten insgesamt 5 % nicht erreicht und der Anteil an Tanne weniger als 2 % beträgt			IV-X: 3 für Bestände, in denen der Anteil der Nadelbaumarten insgesamt 5 % nicht erreicht und der Anteil an Tanne weniger als 2 % beträgt		
<i>Schutzgut: Forstliche Kultur</i>	XI-III: 4			XI-III: 3		
<b>Wirkungsbezogener Grenzwert (Österreich) für HF</b>						
IUFRO 1979	IV-IX: 0,9 (97,5-Perzentil)					0,3
<i>Schutzgut: Forstliche Kultur</i>						
<b>Gesetzlicher Grenzwert (Österreich) für HCl</b>						
Zweite VO gg. forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984)	IV-X: 400			IV-X: 100		
Gesetzlicher Grenzwert	IV-X: 600 für Bestände, in denen der Anteil der Nadelbaumarten insgesamt 5 % nicht erreicht und der Anteil an Tanne weniger als 2 % beträgt			IV-X: 200 für Bestände, in denen der Anteil der Nadelbaumarten insgesamt 5 % nicht erreicht und der Anteil an Tanne weniger als 2 % beträgt		
<i>Schutzgut: Forstliche Kultur</i>	XI-III: 600			XI-III: 150		
<b>Wirkungsbezogener Leitwert für PAN</b>						
WHO 1987 (Leitwert)		300	80			
<i>Schutzgut: Vegetation</i>						

IUFRO 1979: Resolution über maximale Immissionswerte zum Schutz der Wälder. IUFRO-News Nr. 25 (3/1979).  
WHO (World Health Organization, 1987): Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, Kopenhagen.

## Fluorwasserstoff-Immissionsgrenzwerte

### Maximale Immissionswerte (wirkungsbezogen) für Fluorwasserstoff ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

Empfindlichkeitsstufe	Mittelwert über 24 Stunden	Monatsmittel	Mittelwert für die Vegetationsperiode (= 7 Monate)
Sehr empfindliche Pflanzen	2,0	0,4	0,3
Empfindliche Pflanzen	3,0	0,8	0,5
Weniger empfindliche Pflanzen	4,0	2,0	1,4

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 1983: Waldschäden und Luftverunreinigungen, Sondergutachten 1983 des SRU. Drucksache des Deutschen Bundestages Nr. 10 / 113.

Zitiert in: Schwill U. 1984: Zur Immissionsresistenz der Waldbaumarten. Allgemeine Forstzeitung, 1208-1211.

### Grenzwerte für Fluorwasserstoff ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) zum Schutz der Vegetation.

Empfindlichkeitsstufe	Mittelwert 24 Stunden	Mittelwert 30 Tage	Mittelwert für die 7 Monate (April bis Oktober)
Sehr empfindliche Pflanzen	1,0	0,3	0,2
Empfindliche Pflanzen	2,0	0,6	0,4
Weniger empfindliche Pflanzen	7,5	2,5	1,2

Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinie 2310, Blatt 3 (1989).

### Maximale Immissionswerte für Fluorwasserstoff ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

IW1	IW2	
HF-Langzeitbelastung	Kurzzeitbelastung	
0,3	0,9	Schäden an Wäldern ausgeschlossen
0,5	1,5	Erkrankungen und messbare Zuwachsverluste feststellbar
1,0	3,0	Grenzwert Technische Anleitung Luft (Stand 1983)
1,4	4,0	Absterben von Nadelbäumen, Umtriebszeit nicht erreichbar
2,0	6,0	Absterben der Wälder innerhalb weniger Jahre

Umweltbundesamt (BA, Hrsg.) 1978: Medizinische, biologische und ökologische Grundlagen zur Bewertung schädlicher Luftverunreinigungen. Sachverständigenanhörung Berlin.

Zitiert in: Schwill U. 1984: Zur Immissionsresistenz der Waldbaumarten. Allgemeine Forstzeitung, 1208-1211.

## SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- und O<sub>3</sub>-Immissionsgrenzwerte (Österreich)

### Gesetzliche Österreichische SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- und Ozon-Grenz- und Zielwerte zum Schutz der Vegetation. Römische Ziffern: Monate.

Schadstoff	Grenzwert/Zielwert	
SO <sub>2</sub>	<b>Immissionsgrenzwert Vegetationszeit:</b> <u>Halbstundenmittel:</u> IV-IX: 70 µg SO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> (97,5 Perzentil); die zulässige Überschreitung, die sich aus der Perzentilregelung ergibt, darf höchstens 100 % betragen  <u>Tagesmittel:</u> IV-X: 50 µg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	<b>Forstgesetz</b> 2. VO gegen forstschädliche Luftverunreinigungen, BGBl. 199/1984
SO <sub>2</sub>	<b>Immissionsgrenzwert Vegetationsruhe:</b> <u>Halbstundenmittel:</u> XI-III: 150 µg SO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> (97,5 Perzentil); die zulässige Überschreitung, die sich aus der Perzentilregelung ergibt, darf höchstens 100% betragen  <u>Tagesmittel:</u> XI-III: 100 µg SO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup>	<b>Forstgesetz</b> 2. VO gegen forstschädliche Luftverunreinigungen, BGBl. 199/1984
SO <sub>2</sub>	<b>Immissionsgrenzwert:</b> 20 µg SO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> für das Kalenderjahr und das Winterhalbjahr (1. Oktober bis 31. März)	<b>Immissionsschutzgesetz Luft</b> VO des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Immissionsgrenzwerte und Immissionszielwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation, BGBl. 298/2001
SO <sub>2</sub>	<b>Zielwert:</b> 50 µg SO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> als Tagesmittelwert	<b>Immissionsschutzgesetz Luft</b> VO des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Immissionsgrenzwerte und Immissionszielwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation, BGBl. 298/2001
NO <sub>x</sub>	<b>Immissionsgrenzwert:</b> 30 µg NO <sub>x</sub> m <sup>-3</sup> für das Kalenderjahr	<b>Immissionsschutzgesetz Luft</b> VO des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Immissionsgrenzwerte und Immissionszielwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation, BGBl. 298/2001
NO <sub>2</sub>	<b>Zielwert:</b> 80 µg NO <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> als Tagesmittelwert	<b>Immissionsschutzgesetz Luft</b> VO des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Immissionsgrenzwerte und Immissionszielwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation, BGBl. 298/2001
Ozon	<b>Zielwert ab dem Jahr 2010:</b> AOT40 von 18 000 µg m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> , berechnet aus den Einstundenmittelwerten von Mai bis Juli, 8.00-20.00 MEZ, gemittelt über fünf Jahre	<b>Ozongesetz</b> Bundesgesetz, mit dem ein Bundesgesetz über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe (Emissionshöchstmengengesetz-Luft, EG-L) erlassen sowie das Ozongesetz und das Immissionsschutzgesetz Luft geändert werden. Artikel II: Änderung des Ozongesetzes (Anlage 2)
Ozon	<b>Langfristiges Ziel für das Jahr 2020:</b> AOT40 von 6 000 µg m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> , 8.00-20.00 MEZ, berechnet aus den Einstundenmittelwerten von Mai bis Juli	<b>Ozongesetz</b> Bundesgesetz, mit dem ein Bundesgesetz über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe (Emissionshöchstmengengesetz-Luft, EG-L) erlassen sowie das Ozongesetz und das Immissionsschutzgesetz Luft geändert werden. Artikel II: Änderung des Ozongesetzes (Anlage 3)

## SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, O<sub>3</sub>- u.a. Immissionsgrenzwerte (Österreich)

**Übersicht über österreichische gesetzliche Grenz- und Zielwerte für Luftschadstoffe zum Schutz von Menschen und Ökosystemen gemäß Immissionsschutzgesetz Luft und Ozongesetz.**

Schadstoff	Schutzgut	Konzentration in µg/m <sup>3</sup> (wenn nicht anders angegeben)	Beurteilungs-Zeitraum	Regelung
SO <sub>2</sub>	Mensch	200 <sup>1</sup>	0,5 Stunden	Grenzwert
SO <sub>2</sub>	Mensch	120 Tag	Grenzwert	
SO <sub>2</sub>	Ökosystem	20	Kalenderjahr	Grenzwert
SO <sub>2</sub>	Ökosystem	20	1.10.-31.3.	Grenzwert
NO <sub>2</sub>	Mensch	200	0,5 Stunden	Grenzwert
NO <sub>2</sub>	Mensch	80	Tag	Zielwert
NO <sub>2</sub>	Mensch	30 <sup>2</sup>	Kalenderjahr	Grenzwert
NO <sub>x</sub>	Vegetation	30	Kalenderjahr	Grenzwert
PM <sub>10</sub>	Mensch	50 <sup>3</sup>	Tag	Ziel-/Grenzwert
PM <sub>10</sub>	Mensch	40 <sup>4</sup>	Kalenderjahr	Ziel-/Grenzwert
PM <sub>2,5</sub>	Mensch	25	Kalenderjahr	Ziel-/Grenzwert <sup>5</sup>
PM <sub>2,5</sub>	Mensch	20	Kalenderjahr	Zielwert
PM <sub>2,5</sub>	Mensch	20/prozentuelle Reduktion	3 Jahre	Ziel/Verpflichtung <sup>6</sup>
Kohlenmonoxid	Mensch <sup>1</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	8 Stunden	Grenzwert
Benzol	Mensch	5	Kalenderjahr	Grenzwert
Blei im PM <sub>10</sub>	Mensch	0,5	Kalenderjahr	Grenzwert
Benzo(a)pyren	Mensch	1 ng/m <sup>3</sup>	Kalenderjahr	Ziel-/Grenzwert <sup>7</sup>
Nickel im PM <sub>10</sub>	Mensch	20 ng/m <sup>3</sup>	Kalenderjahr	Ziel-/Grenzwert <sup>7</sup>
Arsen im PM <sub>10</sub>	Mensch	6 ng/m <sup>3</sup>	Kalenderjahr	Ziel-/Grenzwert <sup>7</sup>
Cadmium im PM <sub>10</sub>	Mensch	5 ng/m <sup>3</sup>	Kalenderjahr	Ziel-/Grenzwert <sup>7</sup>
Ozon	Mensch	180	Stunde	Informationsschwelle
Ozon	Mensch	240	Stunde	Alarmschwelle
Ozon	Mensch	120	8 Stunden <sup>8</sup>	Zielwert
Ozon	Vegetation	18.000 µg/(m <sup>3</sup> h)	1.5.-31.7. <sup>9</sup>	Zielwert

Grenz-, Ziel- und Schwellenwerte des Immissionsschutzgesetzes-Luft i.d.F. vom 16.3.2006 bzw. in einer Verordnung gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft (VO BGBl. II Nr. 298/2001) sowie Regelungen gemäß Ozongesetz und Luftqualitätsrichtlinie für PM<sub>2,5</sub>.

- 1) Darf bis zu 3-mal pro Tag überschritten werden, aber nur 48-mal pro Jahr, soweit die Konzentration 350 µg/m<sup>3</sup> nicht überschreitet.
- 2) Der Grenzwert ist ab 2012 einzuhalten. Die Toleranzmarge beträgt 10 µg/m<sup>3</sup> von 1.1.2005 bis 31.12.2009, 5 µg/m<sup>3</sup> von 1.1.2010 bis 31.12.2011.
- 3) Darf nicht mehr als 30-mal pro Kalenderjahr überschritten werden, ab 2010 nicht mehr als 25-mal. Zielwert: nicht mehr als sieben Überschreitungen pro Kalenderjahr.
- 4) Der Zielwert beträgt 20 µg/m<sup>3</sup> als Jahresmittelwert.
- 5) Der Zielwerte sollte ab 2010 eingehalten werden, der Grenzwert ist ab 1.1.2015 einzuhalten.
- 6) Verpflichtung für die Expositionskonzentration. Einzuhalten für den Mittelwert über die Jahre 2013, 2014, 2015 und gemittelt über die dafür gemäß einer Verordnung zum Immissionsschutzgesetz-Luft vorgesehenen Messstellen im städtischen Hintergrund. Für 2020 ist abhängig von der Konzentration 2009, 2010, 2011 ein Ziel für eine prozentuelle Reduktion vorgesehen.
- 7) Die Zielwerte dürfen ab dem 31.12.2012 nicht mehr überschritten werden. Ab diesem Zeitpunkt gelten die Zielwerte als Grenzwerte.
- 8) Höchster Achtstundenmittelwert des Tages, darf an höchstens 25 Tagen pro Kalenderjahr überschritten werden, gemittelt über drei Jahre.
- 9) AOT40 (accumulated exposure over threshold of 40 ppb), Summe der Differenz zwischen Ozonkonzentrationen über 40 ppb (80 µg/m<sup>3</sup>) als nicht gleitender Einstundenmittelwert und 40 ppb (sofern die Ozonkonzentration über 40 ppb liegt) über den Zeitraum Mai–Juli unter Verwendung eines täglichen Zeitfensters von 08:00–20:00 Uhr (MEZ), gemittelt über fünf Jahre.

## Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (1)

Grenzwerte für SO<sub>2</sub> zum Schutz der Vegetation (grau unterlegt: für Österreich relevantes Gesetz).  
Römische Ziffern: Monate.

	Bezugszeitraum			
	0,5h	24h	Vegetationsperiode	Jahr
$\mu\text{g m}^{-3}$				
<b>Gesetzliche Grenzwerte</b>				
Zweite VO gg. forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984)	IV-IX: 70 (97,5 Perzentil); die zulässige Überschreitung, die sich aus der Perzentilregelung ergibt, darf höchstens 100% betragen	IV-X: 50  IV-X: 100; für Bestände, in denen der Anteil der Nadelbaumarten insgesamt 5% nicht erreicht und der Anteil an Tanne weniger als 2% beträgt	-	-
Gesetzlicher Grenzwert				
<i>Schutzgut:</i> <i>Forstliche Kultur</i>	XI-III: 150 (97,5 Perzentil); die zulässige Überschreitung, die sich aus der Perzentilregelung ergibt, darf höchstens 100% betragen	XI-III: 100;	-	-
Schweizerische Luftreinhalteverordnung 1985	100 (95-Perzentil)	100 darf höchstens 1x pro Jahr überschritten werden		30
Gesetzlicher Grenzwert				
<i>Schutzgut:</i> <i>Mensch, Tiere, Pflanzen</i>				
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte</b>				
VDI-Richtlinie 2310, Bl.2E 1978			50 80 120	Sehr empfindlich Empfindlich Weniger empf.
<i>Schutzgut:</i> <i>Vegetation</i>				
IUFRO 1979	IV-X: 75 (97,5 Perzentil) zur Aufrechterhaltung der Schutz- und Sozialfunktion des Waldes auf kritischen und extremen Standorten  XI-III: 150 zum Schutz der vollen Leistungsfähigkeit des Waldes auf den meisten Standorten, bezogen auf die Empfindlichkeit der Fichte	IV-X: 50 zur Aufrechterhaltung der Schutz- und Sozialfunktion des Waldes auf kritischen und extremen Standorten  XI-III: 100 zum Schutz der vollen Leistungsfähigkeit des Waldes auf den meisten Standorten, bezogen auf die Empfindlichkeit der Fichte		25 zur Aufrechterhaltung der Schutz- und Sozialfunktion des Waldes auf kritischen und extremen Standorten  50 zum Schutz der vollen Leistungsfähigkeit des Waldes auf den meisten Standorten, bezogen auf die Empfindlichkeit der Fichte
<i>Schutzgut:</i> <i>Forstliche Kultur</i>				

## Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (2; UN-ECE, WHO)

### Wirkungsbezogene Grenzwerte für SO<sub>2</sub> zum Schutz der Vegetation.

	Bezugszeitraum		
	0,5 h	24 h	Jahr
	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>
UN/ECE 1988  <i>Schutzgut: Empfindliche Pflanzen</i>		70 (empfindliche Kulturpflanzen / Wälder)	20 (keine nachgewiesenen Auswirkungen auf Wachstum und Vitalität) 30 (empfindliche Kulturpflanzen / Wälder)
UN/ECE 1992  <i>Schutzgut: Waldökosysteme und natürliche Vegetation</i>			10 (Blualgenflechten)  20 (auch Halbjahresmittel, Oktober - März)
UN/ECE 1992  <i>Schutzgut: Waldökosysteme und natürliche Vegetation</i>			15 wenn die effektive Temperatursumme über 5°C (Tagesmitteltemperatur) weniger als 1000°C beträgt
UN/ECE 1992  <i>Schutzgut: Landwirtschaftliche Nutzpflanzen</i>			30 (auch Halbjahresmittel, Oktober - März)
WHO 1987	75 (97,5-Perzentil) (Wälder auf extremen Standorten)		25 (Wälder auf extremen Standorten)
WHO 1987 (Leitwert)  <i>Schutzgut: Vegetation</i>	Einschränkung: Unzureichender Schutz bei extremen klimatischen und topographischen Bedingungen	100	30
WHO 1994  <i>Schutzgut:</i>  <i>Kulturpflanzen</i> <i>Wälder / natürl. Vegetation</i> <i>Empf. Wälder/nat. Vegetation</i> <i>Flechten</i>			Jahres- und Winterdurchschnitt  30 20 15 10

## Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (3)

**Grenzwerte für SO<sub>2</sub> (µg m<sup>-3</sup>) zum Schutz der Vegetation (grau unterlegt: für Österreich relevantes Gesetz).**  
Römische Ziffern: Monate.

		Bezugszeitraum	
		Jahr / Halbjahr	Jahr / Halbjahr
<b>Gesetzlicher Grenzwert bzw. Zielwert</b>			
VO zum Immissionschutzgesetz Luft (BGBl. 115/1997): BGBl. 298/2001 Richtlinie des Rates 1999/30/EG  <i>Schutzgut: Ökosysteme und Vegetation</i>	Grenzwerte zum Schutz der Vegetation sind im 62. Bundesgesetz 2001 (Bundesgesetz, mit dem das Immissionsschutzgesetz geändert und das Smogalarmgesetz aufgehoben wird) enthalten, welche als Grundlage die Richtlinie des Rates (s. u.) 1999/30/EG hat Rahmenrichtlinie 1996/62/EG: Richtlinie des Rates über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität	20 Winter (X-III)	20 Kalenderjahr (X - III)  Zielwert für das Tagesmittel: 50
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte</b>			
WHO 1995 (Leitwert)  <i>Schutzgut: Forstliche Kultur</i>		20 zum Schutz der Wälder und der natürlichen Vegetation  15 zum Schutz der Wälder und der natürlichen Vegetation (effektive Temperatursumme <1000°C Tage > +5°C	10 zum Schutz der Flechten
WHO 2000  <i>Schutzgut: Wälder und natürliche Vegetation</i>		20 Kalenderjahr und Wintermittel  15 Kalenderjahr und Wintermittel, Einschränkung: Temperatursumme über 5°C > 1000°C-Tage p.a.	20 Kalenderjahr und Wintermittel  15 Kalenderjahr und Wintermittel, Einschränkung: Temperatursumme über 5°C > 1000°C-Tage p.a.

## Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (4)

1. Tochterrichtlinie: 1999/30/EG: „Richtlinie des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft“

Mit der Änderung des Immissionsschutzgesetzes (BGBl. 115/1997) durch das „Bundesgesetz, mit dem das Immissionsschutzgesetz-Luft geändert wird und das Smogalarmgesetz aufgehoben wird“ (62. Bundesgesetz, ausgegeben am 6.7.2001) gilt dieser Grenzwert auch für Österreich.

IUFRO 1979: Resolution über maximale Immissionswerte zum Schutz der Wälder. IUFRO-News Nr. 25 (3/1979).

Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. (Basierend auf dem Entwurf 92/96/EG.)

Schweizerisches Departement des Inneren 1985: Luftreinhalteverordnung.

UN-ECE 1992: Workshop Egham.

UN-ECE 1996: Workshop Kouopio.

Verein Deutscher Ingenieure 1978: Maximale Immissions-Werte zum Schutz der Vegetation (SO<sub>2</sub>). VDI 2310, Blatt 2E.

WHO (World Health Organization) 1987a: Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, Kopenhagen.

WHO (World Health Organization) 1995: Updating and revision of the air quality guidelines for Europe. Report of the WHO-Working Group on Ecotoxic Effects, Les Diablerets, Switzerland, Sept. 21-23, 1994.

WHO (World Health Organization) 2000: Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Publication Series, European Series No. 19.

## Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (5)

**Maximale Immissionswerte (wirkungsbezogen) für Schwefeldioxid (mg m<sup>-3</sup>).**

Sehr empfindlich	Empfindlich	Weniger empfindlich
Maximale Immissionskonzentration (97,5-Perzentil für 30 Min.-Werte)		
0,25	0,40	0,60
Mittelwert für die Vegetationsperiode (= 7 Monate)		
0,05	0,08	0,12
Tanne ( <i>Abies</i> sp.) Fichte ( <i>Picea</i> spec.) Douglasie ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> )	Kiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> ) Weymoutskiefer ( <i>Pinus strobus</i> ) Lärche ( <i>Larix</i> spec.)	Schwarzkiefer ( <i>Pinus nigra austriaca</i> ) Eibe ( <i>Taxus baccata</i> )
	Linde ( <i>Tilia</i> spec.) Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> ) Hainbuche ( <i>Carpinus betulus</i> )	Platane ( <i>Platanus</i> spec.) Pappel ( <i>Populus</i> spec.) Ahorn ( <i>Acer</i> spec.) Erle ( <i>Alnus</i> spec.) Weide ( <i>Salix</i> spec.) Birke ( <i>Betula</i> spec.)

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 1983: Waldschäden und Luftverunreinigungen, Sondergutachten 1983 des SRU. Drucksache des Deutschen Bundestages Nr. 10 / 113.

## Schwefeldioxid-Immissionsgrenzwerte (6)

### Maximale Immissionswerte für Schwefeldioxid ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

Jahresdurchschnittskonzentration	98 Perzentil	Risiko
15	60	Schutz der Koniferen scheint überall gesichert
20	80	Schädigungsschwelle in den Höhenlagen der Mittelgebirge und im borealen Klimabereich. Frosthärte durch Immission gemindert.
30	120	Leichte chronische Erkrankungen bei Fichte und Kiefer in standörtlich armen Höhenlagen, Weißtanne stirbt.
40	160	Deutliche Schäden in den Höhenlagen. Prädisposition für Sekundärschäden in den Ebenen.
50	200	Schadensschwelle auf guten Standorten in den Ebenen und niederen Berglagen. Fichtenbestände sterben vorzeitig in den Hochlagen über 800 m.
60	240	Ab dieser Belastung nur noch Angaben für gute Standorte: chronische Immissionserkrankungen mit im Alter nachweisbaren Zuwachsverlusten.
80	300	Schwere Erkrankungen mit ab Alter 30 messbaren Zuwachsschäden. Verlichtung der Bestände vor der Umtriebszeit.
120	360	Waldbau mit Fichten und Kiefern überhaupt ausgeschlossen. Nadelwälder erreichen z. T. noch das Stangenholzalter.
140	400	Grenzwert der Technischen Anleitung Luft (Stand 1982)
160	500	Krüppelkiefern überleben vereinzelt. Auch Menschen und Tiere gefährdet.

Wentzel K.F. 1982: Ursachen des Waldsterbens in Mitteleuropa. Allg. Forstzeitschr. 45, 1365-1368.

Zitiert in: Schwill U. 1984: Zur Immissionsresistenz der Waldbaumarten. Allgemeine Forstzeitung, 1208-1211.

## NO<sub>x</sub>-Immissionsgrenzwerte (1)

### NO<sub>2</sub>- bzw. NO<sub>x</sub>-Grenzwerte zum Schutz der Vegetation.

(grau unterlegt: für Österreich relevante Grenzwerte bzw. Gesetze)

	Bezugszeitraum		
	0,5 h bzw. 4 h	24 h	Jahr
	NO <sub>2</sub> / NO <sub>x</sub> µg m <sup>-3</sup>	NO <sub>2</sub> µg m <sup>-3</sup>	NO <sub>2</sub> / NO <sub>x</sub> µg m <sup>-3</sup>
Gesetzliche Grenzwerte			
Richtlinie des Rates 1999/30/EG *) <i>Schutzgut: Vegetation (Mehrheit der Pflanzenarten)</i>			NO <sub>x</sub> : 30 Kalenderjahr
VO zum Immissions-schutzgesetz Luft (BGBl. 115/1997): BGBl. 298/2001 <i>Schutzgut: Ökosysteme und Vegetation</i>	Grenzwerte zum Schutz der Vegetation sind im 62. Bundesgesetz 2001 <sup>1)</sup> enthalten, welche als Grundlage die Richtlinie des Rates 1999/30/EG hat	NO <sub>2</sub> : Zielwert: 80 als Tagesmittelwert	NO <sub>x</sub> : 30 Kalenderjahr
Schweizerische Luftreinhalteverordnung 1985  Gesetzlicher Grenzwert <i>Schutzgut: Mensch, Tiere, Pflanzen</i>	0,5h: 100 (95-Perzentil)	NO <sub>2</sub> : 80 darf höchstens 1x pro Jahr überschritten werden	NO <sub>2</sub> : 30
Wirkungsbezogene Grenzwerte			
Österr. Akademie der Wissenschaften 1987 <i>Schutzgut: Vegetation</i>	NO <sub>2</sub> : 0,5h: 200	NO <sub>2</sub> : 80	NO <sub>2</sub> : 30
WHO 1987 (Leitwert) <i>Schutzgut: Vegetation (Höhere Pflanzen, Wachstumsminderung)</i>	NO <sub>2</sub> : 4h-Mittel: 95 wenn SO <sub>2</sub> ≤ 30 und O <sub>3</sub> ≤ 60		NO <sub>2</sub> : 30 (wenn SO <sub>2</sub> ≤ 30 und O <sub>3</sub> ≤ 60)
UN-ECE 1988 <i>Schutzgut: Vegetation (Höhere Pflanzen, biochemisch-physiologische Veränderungen)</i>	NO <sub>2</sub> : 95 (95-Perzentil bei gleichzeitigem Auftreten von O <sub>3</sub> und/oder SO <sub>2</sub> in Konzentrationen unterhalb ihrer „Critical Levels“)		NO <sub>2</sub> : < 30
UN-ECE 1988 <i>Schutzgut: Vegetation (Höhere Pflanzen, Wachstumsminderung)</i>			NO <sub>2</sub> : 30 (bei gleichzeitigem Auftreten von O <sub>3</sub> und/oder SO <sub>2</sub> in Konzentrationen unterhalb ihrer „Critical Levels“)
UN-ECE 1992 <i>Schutzgut: gesamte Vegetation</i>	NO <sub>2</sub> : 4h: 95		NO <sub>x</sub> : 30
WHO 1995/1996 (Leitwert) <i>Schutzgut: Mehrheit der Pflanzenarten</i>			NO <sub>x</sub> : 30
WHO 2000 <i>Schutzgut: Vegetation</i>	(NO <sub>x</sub> : 0,5h: 75)  („insufficient data to provide these level with confidence“)		NO <sub>x</sub> : 30

## NO<sub>x</sub>-Immissionsgrenzwerte (2)

Berechnung von NO<sub>x</sub>

(Summe aus NO<sub>2</sub> und NO, addiert als ppb und ausgedrückt als µg NO<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>)

$$\text{NO}_x (\mu\text{g m}^{-3}) = (\text{ppb NO}_2 + \text{ppb NO}) \cdot 1,89 = [(\mu\text{g NO}_2 \text{ m}^{-3}/1,89) + (\mu\text{g NO m}^{-3}/1,23)] \cdot 1,89$$

\*) Rahmenrichtlinie 1996/62/EG: Richtlinie des Rates über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität

1. Tochterrichtlinie: 1999/30/EG: „Richtlinie des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft“

Mit der Änderung des Immissionsschutzgesetzes (BGBl. 115/1997) durch das „Bundesgesetz, mit dem das Immissionsschutzgesetz-Luft geändert wird und das Smogalarmgesetz aufgehoben wird“ (62. Bundesgesetz, ausgegeben am 6.7.2001) gilt dieser Grenzwert auch für Österreich.

Österreichische Akademie der Wissenschaften 1987: Luftqualitätskriterien Stickstoffdioxid. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.

Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. (Basierend auf dem Entwurf 92/96/EG.)

Schweizerisches Departement des Inneren 1985: Luftreinhalteverordnung.

UN-ECE 1992: Workshop Egham.

Verein Deutscher Ingenieure: Maximale Immissions-Werte zum Schutz der Vegetation (NO<sub>2</sub>). VDI 2310, Blatt 5E (1978).

WHO (World Health Organization) 1987a: Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, Kopenhagen.

WHO (World Health Organization) 1995: Updating and revision of the air quality guidelines for Europe. Report of the WHO-Working Group on Ecotoxic Effects, Les Diablerets, Switzerland, Sept. 21-23, 1994.

WHO (World Health Organization) 2000: Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Publication Series, European Series No. 19.

## Staub-Immissionsgrenzwerte (Österreich, Schweiz)

### Gesetzliche Grenzwerte für Staubbiederschläge zum Schutz der Vegetation.

	Komponente	Monatsmittelwert (g m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup> )	Jahresmittelwert	
Zweite VO gg. forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984)	CaO	0,08	0,05 g m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	
	MgO	0,60	0,40 g m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	
	Pb		2,50 kg ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup>	
Gesetzlicher Grenzwert <i>Schutzgut: Forstliche Kultur</i>	Zn		10,0 kg ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup>	
	Cu		2,50 kg ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup>	
	Cd		0,05 kg ha <sup>-1</sup> Jahr <sup>-1</sup>	
Schweizerische Luftreinhalteverordnung 1985			Arithmet. Mittelwert	
	Staub insg.		200 mg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	
Gesetzlicher Grenzwert <i>Schutzgut: Vegetation</i>	Pb		100 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	365 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
	Cd		2 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	7,3 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
	Zn		400 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	1460 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
	Tl		2 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	7,3 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>

$$(g\ m^{-2}\ Tag^{-1}) \cdot 3650 = kg\ ha^{-1}\ Jahr^{-1}$$

$$(\mu g\ m^{-2}\ Tag^{-1}) \cdot 3,65 = g\ ha^{-1}\ Jahr^{-1}$$

## IW1 / IW2, MIK- und MAK-Grenzwerte (Deutschland)

### IW1- und IW2-Werte für verschiedene Luftschadstoffe (TA-Luft 1986).

	IW1	IW2
	mg m <sup>-3</sup>	mg m <sup>-3</sup>
SO <sub>2</sub>	0,14	0,40
NO <sub>2</sub>	0,08	0,20
HF	0,001	0,003
Chlor	0,10	0,30
HCl als Cl	0,10	0,20 (0,30)
CO	10	30
Schwebstaub	0,15	0,30
Pb	0,002	-
Cd	0,00004	-

### MIK-Werte nach VDI-Richtlinien 2310 (1974).

Substanz	0,5 h	24h	1 Jahr
	mg m <sup>-3</sup>	mg m <sup>-3</sup>	mg m <sup>-3</sup>
NH <sub>3</sub>	2	1	0,5
HF	0,2	0,1	0,05
O <sub>3</sub>	0,12	-	-
SO <sub>2</sub>	1	0,3	-
NO <sub>2</sub>	0,2	0,1	-
CO	50	10	10
Schwebstaub	0,3	0,2	0,1

### Grenzwerte zum Schutz des Menschen (MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration), IW1 = Grenzwert für den Mittelwert gemäß TA-Luft (normativer Grenzwert; siehe Abschnitt 6) und niedrigste wirkungsbezogene Grenzwerte für Pflanzen.

Gas	MAK (Mensch)	TA-Luft 1986 (IW1) (Umwelt)	Grenzwerte zum Schutz von Pflanzen
	mg m <sup>-3</sup>	mg m <sup>-3</sup>	mg m <sup>-3</sup>
SO <sub>2</sub>	5	0,14	0,025
HF	2	0,001	0,0005
HCl	7	0,10	0,10
NH <sub>3</sub>	35	-	0,10
O <sub>3</sub>	0,2	-	0,060
NO <sub>2</sub>	9	0,08	0,030

## MAK-Werte (Deutschland)

### MAK-Werte (Stand 1995).

Stoff	MAK-Wert (mg m <sup>-3</sup> )
Ethanol	1900
Aceton	1200
Toluol	190
Acetaldehyd	90
Acetonitril	70
Tetrachlormethan	65
Kohlenmonoxid	33
Ethylamin	18
Schwefelwasserstoff	15
Cyanwasserstoff	11
Stickstoffdioxid	9
Anilin	8
Benzol	8 *)
Chlorwasserstoff	7
Salpetersäure	5
Schwefeldioxid	5
Chlor	1,5
Brom	0,7
Formaldehyd	0,6
Ozon	0,2
Hydrazin	0,13
Tetraethylblei	0,075

\*) in Kokereien, Tankstellen etc.

### MAK-Werte für CKWs.

Stoff	MAK-Wert (mg m <sup>-3</sup> )
CCl <sub>3</sub> F	5600
CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	5000
C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	3800
CHClF <sub>2</sub>	1800
CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	1080
CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	360
C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	345
C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	270
CH <sub>3</sub> Cl	105
CCl <sub>4</sub>	65
CHCl <sub>3</sub>	50

## Grenzwerte TA-Luft (2002; Deutschland)

### Immissionswerte der Technische Anleitung Luft (2002)

Stoff/Stoffgruppe		Mittelungs- zeitraum	Zulässige Überschrei- tungs- häufigkeit im Jahr	Schutzgut
<b>Gasförmige Luftschadstoffe</b>				
	$\mu\text{g m}^{-3}$			
Benzol	5	Jahr	-	Schutz der menschlichen Gesundheit
Pb und seine anorganischen Verbindungen als Bestandteile des Schwebstaubes (PM <sub>10</sub> ), angegeben als Pb	0,5	Jahr	-	Schutz der menschlichen Gesundheit
Schwebstaub (PM <sub>10</sub> )	40	Jahr	-	Schutz der menschlichen Gesundheit
Schwebstaub (PM <sub>10</sub> )	50	24 Stunden	35	Schutz der menschlichen Gesundheit
Schwefeldioxid	50	Jahr	-	Schutz der menschlichen Gesundheit
Schwefeldioxid	125	24 Stunden	3	Schutz der menschlichen Gesundheit
Schwefeldioxid	350	1 Stunde	24	Schutz der menschlichen Gesundheit
Schwefeldioxid	20	Jahr und Winter (1.10. - 31.3.)		Ökosysteme
Stickstoffdioxid	40	Jahr	-	Schutz der menschlichen Gesundheit
Stickstoffdioxid	200	1 Stunde	18	Schutz der menschlichen Gesundheit
Stickstoffoxide, angegeben als Stickstoffdioxid	30	Jahr		Vegetation
Tetrachlorethen	10	Jahr	-	Schutz der menschlichen Gesundheit
Fluorwasserstoff und gasförmige anorganische F-Verbindungen, angegeben als Fluor	0,4	Jahr		Schutz vor erheblichen Nachteilen
<b>Schadstoffdepositionen</b>				
	$\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$			
Staubniederschlag (nicht gefährdender Staub)	0,35	Jahr		Schutz vor erheblichen Belästigungen oder erheblichen Nachteilen
	$\mu\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$			
Pb und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Pb	100	Jahr		Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen einschließlich der Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen
Ni und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Ni	15	Jahr		
As und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als As	4	Jahr		
Cd und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Cd	2	Jahr		
Tl und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Tl	2	Jahr		
Hg und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Hg	1	Jahr		

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24.7.2002.

## Air Quality Guidelines (Europe)

### Summary of air quality guidelines, limit values and critical levels applied in Europe

(zitiert in Ashmore, 2003).

	<b>Ozone</b>	<b>Sulphur dioxide</b>	<b>Nitrogen oxides</b>
Nature of index	Cumulative exposure over growing season (ppb•h)	Annual or winter mean ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Annual mean of sum of NO and NO <sub>2</sub> concentrations (ppb), expressed as $\mu\text{g m}^{-3}$ based on conversion for NO <sub>2</sub>
UN-ECE	3000 ppb•h in daylight hours over 3 months (agricultural crops and natural vegetation)  10,000 ppb•h in daylight hours over 6 months (forests)	30 (agricultural crops) 20 (forests) 15 (forests in harsh climates) 10 (lichens)	30 (all vegetation)
WHO	5300 ppb•h in daylight hours over 3 months (agricultural crops)  10,000 ppb•h in all hours over 6 months (forests)	As for UN-ECE	As for UN-ECE
EU		20 (all ecosystems away from vicinity of sources)	30 (all vegetation)

Ashmore M. 2003: Air pollution impacts on vegetation in Europe. In: Air pollution impacts on crops and forests. A global assessment (L. Emberson, M. Ashmore and F. Murray, eds.), 59-88. Imperial College Press.

## Air Quality Standards (US-EPA)

### National Ambient Air Quality Standards (US)

set up by the United States National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and the EPA (Environmental Protection Agency), respectively for six (seven) principal pollutants, designed also to provide protection of vegetation.

#### Standard values.

Pollutant	1h	8h	24h	Quarterly average	Annual arithmetic mean	
SO <sub>2</sub> *)			0,14 ppm (365 µg m <sup>-3</sup> )		(80 µg m <sup>-3</sup> )	Primary
O <sub>3</sub>	0,12 ppm (235 µg m <sup>-3</sup> )	0,08 ppm (157 µg m <sup>-3</sup> )				Primary and secondary
NO <sub>2</sub>					0.053 ppm (100 µg m <sup>-3</sup> )	Primary and secondary
Pb				1,5 µg m <sup>-3</sup>		
PM <sub>2.5</sub>			65 µg m <sup>-3</sup>		15 µg m <sup>-3</sup>	Primary and secondary
PM <sub>10</sub>			150 µg m <sup>-3</sup>		50 µg m <sup>-3</sup>	Primary and secondary
CO	35 ppm	9 ppm				

\*) 3h average: 1300 µg m<sup>-3</sup> (secondary)

EPA 2000: <http://www.epa.gov/airs/criteria.html>

#### Standard values.

Pollutant	Primary (health related)		Secondary (welfare related)	
	Type of average	Standard level concentration	Type of average	Standard level concentration
CO	8 hr 1 hr	9 ppm (10 mg m <sup>-3</sup> ) 35 ppm (40 mg m <sup>-3</sup> )	No secondary standard	
NO <sub>2</sub>	Annual arithmetic mean	0,053 ppm (100 mg m <sup>-3</sup> )	Same as primary standard	
O <sub>3</sub>	Maximum daily 1 hr average	0,12 ppm (235 mg m <sup>-3</sup> )	Same as primary standard	
Pb	Maximum quarterly average	1,5 µg m <sup>-3</sup>	Same as primary standard	
PM <sub>10</sub>	Annual arithmetic mean	50 µg m <sup>-3</sup>	Same as primary standard	
	24 hr	150 µg m <sup>-3</sup>		
SO <sub>2</sub>	Annual arithmetic mean	80 µg m <sup>-3</sup> (0,03 ppm)	3 hr	1300 µg m <sup>-3</sup> (0,50 ppm)
	24 hr	365 µg m <sup>-3</sup> (0,14 ppm)		

Krupa S.V. 1997: Air pollution, people and plants. APS Press Minnesota, U.S.A.

## Air Quality Standards (EU) (1)

### Air Quality Standards (Schutz des Menschen).

Pollutant	Concentration	Averaging period	Legal nature	Permitted exceedences each year
Fine articles (PM <sub>2,5</sub> )	25 µg m <sup>-3***</sup>	1 year	Target value enters into force 1.1.2010, Limit value enters into force 1.1.2015	n/a
Sulphur dioxide (SO <sub>2</sub> )	350 µg m <sup>-3</sup>	1 hour	Limit value enters into force 1.1.2005	24
	125 µg m <sup>-3</sup>	24 hours	Limit value enters into force 1.1.2005	3
Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> )	200 µg m <sup>-3</sup>	1 hour	Limit value enters into force 1.1.2010	18
	40 µg m <sup>-3</sup>	1 year	Limit value enters into force 1.1.2010*	n/a
PM <sub>10</sub>	50 µg m <sup>-3</sup>	24 hours	Limit value enters into force 1.1.2005**	35
	40 µg m <sup>-3</sup>	1 year	Limit value enters into force 1.1.2005**	n/a
Lead (Pb)	0.5 µg m <sup>-3</sup>	1 year	Limit value enters into force 1.1.2005 (or 1.1.2010 in the immediate vicinity of specific, notified industrial sources; and a 1.0 µg m <sup>-3</sup> limit value applies from 1.1.2005 to 31.12.2009)	n/a
Carbon monoxide (CO)	10 mg m <sup>-3</sup>	Maximum daily 8 hour mean	Limit value enters into force 1.1.2005	n/a
Benzene	5 µg m <sup>-3</sup>	1 year	Limit value enters into force 1.1.2010**	n/a
Ozone	120 µg m <sup>-3</sup>	Maximum daily 8 hour mean	Target value enters into force 1.1.2010	25 days averaged over 3 years
Arsenic (As)	6 ng m <sup>-3</sup>	1 year	Target value enters into force 1.1.2012	n/a
Cadmium (Cd)	5 ng m <sup>-3</sup>	1 year	Target value enters into force 1.1.2012	n/a
Nickel (Ni)	20 ng m <sup>-3</sup>	1 year	Target value enters into force 1.1.2012	n/a
Polycyclic aromatic hydrocarbons	1 ng m <sup>-3</sup> , expressed as concentration of Benzo(a)pyrene	1 year	Target value enters into force 1.1.2012	n/a

\* Under the new Directive the member State can apply for an extension of up to five years (i.e. maximum up to 2015) in a specific zone. Request is subject to assessment by the Commission. In such cases within the time extension period the limit value applies at the level of the limit value + maximum margin of tolerance (48 µg m<sup>-3</sup> for annual NO<sub>2</sub> limit value).

\*\* Under the new Directive the Member State can apply for an extension until three years after the date of entry into force of the new Directive (i.e. May 2011) in a specific zone. Request is subject to assessment by the Commission. In such cases within the time extension period the limit value applies at the level of the limit value + maximum margin of tolerance (35 days at 75 µg m<sup>-3</sup> for daily PM<sub>10</sub> limit value, 48 µg m<sup>-3</sup> for annual PM<sub>10</sub> limit value).

\*\*\* Standard introduced by the new Directive

## Air Quality Standards (EU) (2)

### Air Quality Standards (Schutz des Menschen).

Title	Metric	Averaging period	Legal nature	Permitted exceedences each year
PM <sub>2.5</sub> Exposure concentration obligation	20 µg m <sup>-3</sup> (AEI)	Based on 3 year average	Legally binding in 2015 (years 2013, 2014, 2015)	n/a
PM <sub>2.5</sub> Exposure reduction target	Percentage reduction + all measures to reach 18 µg m <sup>-3</sup> (AEI)	Based on 3 year average	Reduction to be attained where possible in 2020, determined on the basis of the value of exposure indicator in 2010	n/a

Depending on the value of AEI (average expose indicator) in 2010, a percentage reduction requirement (0, 10, 15 % or 20 %) is set in the Directive. If AEI in 2010 is assessed to be over 22 µg m<sup>-3</sup>, all appropriate measures need to be taken to achieve 18 µg m<sup>-3</sup> by 2020.

Under EU law a **limit value** is legally binding from the date it enters into force subject to any exceedances permitted by the legislation. A **target value** is to be attained as far as possible by the attainment date and so is less strict than a limit value.

The new Directive is introducing additional PM<sub>2.5</sub> objectives targetting the **exposure** of the population to fine particles. These objectives are set at the national level and are based on the average exposure indicator (AEI).

AEI is determined as a 3-year running annual mean PM<sub>2.5</sub> concentration averaged over the selected monitoring stations in agglomerations and larger urban areas, set in urban background locations to best assess the PM<sub>2.5</sub> exposure to the general population.

New Directive. 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21.

<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

## Air Quality Standards (EU) (3)

**Table 4.4** Overview of main EU Directives related to N emissions to, and concentrations in, the atmosphere (see also EC, 2010g)

Directive	Description / objectives	Limit values
2008/50/EC	<b>Ambient air quality:</b> definitions, threshold values, targets and assessment, in relation to sulphur dioxide, nitrogen dioxide, particulate matter, lead, benzene and carbon monoxide.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Critical level for NO<sub>x</sub> for vegetation (average over 1 year): 30 µg m<sup>-3</sup></li> <li>• Limit values for NO<sub>x</sub> for human health (averaged over 1 yr): 40 µg m<sup>-3</sup></li> <li>• Limit values for NO<sub>x</sub> for human health (averaged over 1 hr): 200 µg m<sup>-3</sup></li> <li>• Alert thresholds for NO<sub>x</sub> for human health (averaged over 3 hr): 400 µg m<sup>-3</sup></li> <li>• Target and limit values for PM<sub>2.5</sub> in urban areas (average over 3 yr): 20–25 µg m<sup>-3</sup>.</li> </ul>
2008/1/EC	<b>Integrated Pollution, Prevention and Control (IPPC):</b> to prevent and control emissions from industrial activities into air, water or soil, in relation to polluting substances, including nitrogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installations need a permit</li> <li>• Installations need to comply with environmental quality standards described in other Directives</li> <li>• Installations need to apply best available techniques (BATs)</li> </ul>
2001/81/EC	<b>National Emission Ceilings (NEC):</b> to limit emissions to protect the environment and human health against risks of adverse effects from acidification, eutrophication and ground-level ozone, by establishing national emission ceilings, taking the years 2010 (and 2020) as benchmarks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• National emission ceilings for SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC and NH<sub>3</sub>, for each country to be attained by 2010, expressed in kilotonnes (Gg)</li> <li>• In regard of the long term objectives 'not exceeding critical levels and loads and of effective protection of all people against recognized health risks from air pollution' no ceilings have been yet set for 2020 though the Directive envisages ongoing review</li> </ul>

Sutton M.A., Howard C.M., Erisman J.W., Billen G., Bleeker A., Grennfelt P., Grinsven H.v., Grizzetti B. (eds.) 2011: The European nitrogen assessment. Technical Summary. Cambridge University Press. ISBN: 978-1-107-00612-6.

## Critical Loads (Säure und Eutrophierung)

### Critical Loads für Protonen-, Schwefel- und Stickstoffeinträge.

Protonen- und äquivalenter S-Eintrag ( $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ )		
Kritischer Protoneneintrag	äquivalenter Schwefeleintrag	Gestein
< 0,2	< 3	Quarzite, Granite
0,2 - 0,5	3 - 8	Granite, Gneise
0,5 - 1	8 - 16	Grauwacken, Gabbro, Schiefer
1 - 2	16 - 32	Gabbro, Basalt
> 2	> 32	Kalkstein, Mergel
Stickstoffeintrag ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ )		
Kritischer N-Eintrag	Ökosystem	Kriterien
5 - 10	Hochmoore	Veränderungen der Flora möglich, z.B. vermehrtes Wachstum von Büschen und Bäumen; baldige Begrenzung des Wachstums durch andere Nährstoffe (z. B. Kalium)
5 - 20	Heiden	verminderte Frostresistenz von Heidekraut ( <i>Calluna</i> )
7 - 10	Heiden	auf schwach gepufferten Böden Veränderungen der Artenzusammensetzung je nach Verwitterungskapazität
> 20	Heiden	vollständige Umwandlung von Heiden in Grasland
10 - 12	Nadelwald	Nährstoffungleichgewichte aufgrund von hohem N-Eintrag in Abhängigkeit von der Mg- und Ca-Konzentration und von der Nitrifikationsrate des Bodens
> 20	Nadelwald	Artenverschiebung in der Kraut- und Strauchschicht hin zu nitrophilen Arten; abhängig von der Aufnahme durch Bäume und von der Basensättigung des Bodens
< 15	Laubwald	Artenverschiebung in der Kraut- und Strauchschicht hin zu nitrophilen Arten

UN-ECE 1988: Critical Loads for Sulphur and Nitrogen. Skokloster, Sweden, March 19-24.

World Health Organization 1995: Updating and revision of the air quality guidelines for Europe. Report of the WHO-Working Group on Ecotoxic Effects. Les Diablerets, Switzerland, Sept. 21-23, 1994.

World Health Organization 2000: Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO regional Publications, European Series, No. 91.

## Critical Loads (Eutrophierung) (1)

### Critical Loads für eutrophierende N-Einträge.

	Kritische Eintragsraten und Zuverlässigkeit der Werte	Beobachtungsmerkmale
<b>Bäume und Waldökosysteme</b>	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	
Nadelbäume (auf sauren Böden niedriger Nitrifikation)	10 – 15 (c)	Nährstoffungleichgewichte
Nadelbäume (auf sauren Böden mäßiger bis hoher Nitrifikation)	20 - 30 (b)	Nährstoffungleichgewichte
Laubbäume	15 – 20 (b)	Nährstoffungleichgewichte, erhöhtes Spross-Wurzel-Verhältnis
Saure Nadelwälder	7 - 20 (c)	Veränderungen der Bodenflora und Mykorrhiza, erhöhter Schadstoffaustrag
Saure Laubwälder	10 - 20 (b)	Veränderungen der Bodenflora und Mykorrhiza
Wälder auf kalkreichen Böden	15 – 20 (a)	Veränderungen der Bodenflora
Wälder humider Klimate	5 – 10 (a)	Rückgang der Flechten, Zunahme freilebender Algen
Nicht bewirtschaftete Wälder saurer Standorte	7 – 15 (a)	Veränderung der Bodenflora und erhöhter Stoffaustrag
<b>Heiden</b>		
Tieflandheiden trockener Standorte	15 – 20 (c)	Verdrängung der Heide durch Gräser; funktionelle Änderungen (Streuproduktion, Blüte, N-Akkumulation)
Tieflandheiden feuchter Standorte	17 – 22 (c)	Verdrängung der Heide durch Gräser
Artenreiche Heiden/Magerrasen saurer Standorte	10 – 15 (b)	Abnahme empfindlicher Arten
Montane Heiden	10 – 20 (a)	Verdrängung der Heide, Moose und Flechten; N-Akkumulation
Arktische / alpine Heiden	5 – 15 (a)	Abnahme von Flechten, Moosen und immergrünen Zwergsträuchern
<b>Artenreiche Magerrasen</b>		
Artenreiche Kalk-Magerrasen	15 – 35 (c)	Zunahme von Hochgräsern, Abnahme der Artendiversität
Magerrasen auf schwach bis stark sauren Standorten	20 – 30 (b)	Zunahme von Hochgräsern, Abnahme der Artendiversität
Montane und subalpine Magerrasen	10 – 15 (a)	Zunahme von Grasartigen, Abnahme der Artendiversität
<b>Feuchtgebiete</b>		
Flache Weichwassertümpel	5 – 10 (c)	Zunahme von Grasartigen, Abnahme der Artendiversität
Niedermoore	20 – 35 (b)	Zunahme von Grasartigen, Abnahme der Artendiversität
Hochmoore (Regenwassermoore)	5 – 10 (b)	Abnahme von typischen Moosarten, Zunahme von Grasartigen

a) bestmögliche Schätzung, b) weitestgehend verlässlich, c) verlässlich

Bobbink R. et al. 1995: Critical Loads for nitrogen eutrophication of terrestrial and wetland ecosystems based upon changes in vegetation and fauna. In: Grennfelt P., Thönelöf E. 1992: Critical Loads for nitrogen. Report from a workshop held at Lökeberg, Sweden, April 1992. Ellenberg, in: SRU (1994): Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1994) Umweltgutachten 1994. Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung. Metzler-Poeschel, Stuttgart. Nagel H.D., Gregor H.D. 1998: Ökologische Belastungsgrenzen – Critical Loads und Levels. Springer.

## Critical Loads (Eutrophierung) (2)

**Empirical Critical Loads for nitrogen deposition to natural and seminatural ecosystems:  
Forest habitats. ##: reliable, ## quite reliable, (#) expert judgement.**

Ecosystem type	kg N ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	Reliability	Indication of exceedance
<b>Soil processes</b>			
Deciduous & coniferous	10 - 15	#	Increased N mineralization, nitrification
Coniferous forests	10 - 15	##	Increased nitrate leaching
Deciduous forests	10 - 15	(#)	Increased nitrate leaching
<b>Trees</b>			
Deciduous & coniferous	15 - 20	#	Changed N/macro nutrients ratios, decreased P, K, Mg and increased N concentrations in foliar tissue
Temperate forests	15 - 20	(#)	Increased susceptibility to pathogens and pests, change in fungistatic phenolics
<b>Mycorrhiza</b>			
Temperate and boreal forests	10 - 20	(#)	Reduced sporocarp production, changed/reduced below-ground species composition
<b>Ground vegetation</b>			
Temperate and boreal forests	10 - 15	#	Changed species composition, increase of nitrophilous species, increased susceptibility to parasites
<b>Lichens and algae</b>			
Temperate and boreal forests	10 - 15	(#)	Increase of algae, decrease of lichens
<b>Overall</b>			
Temperate forests	10 - 20	#	Changes in soil processes, ground vegetation mycorrhiza and increased risk of nutrient imbalances and susceptibility to parasites
Boreal forests	10 - 20	#	Changes in soil processes, ground vegetation mycorrhiza and increased risk of nutrient imbalances and susceptibility to parasites, increase in free algae

Achermann B., Bobbink R. (eds.) 2003: Empirical Critical Loads for Nitrogen: Expert workshop, Berne, 11-13 November 2002. Workshop Summary. Environmental Documentation 164, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape, 11-18.

## Grenzwerte Bundesimmissionsschutzverordnung (DE)

Die Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie (Richtlinie 96/62/EG von 1996) und deren Tochterrichtlinien bilden die Grundlage der neuen europäischen Luftreinhaltestrategie. In den schadstoffspezifischen Tochterrichtlinien sind Durchführungsbestimmungen und Grenzwerte für die einheitliche Erfassung, Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität festgelegt. Dieses Regelwerk wurde durch die Novellierung der Verordnung über Immissionswerte (22. BImSchV) im Jahr 2002 in nationales Recht umgesetzt.

### Gesetzliche Immissionsgrenzwerte der 22. BImSchV.

	Kenngröße	Einheit	Grenzwert (zulässige Überschreitungshäufigkeit p.a.)	einzuhalten ab	Schutzziel	Bemerkungen
Schwefeldioxid	1-h-Wert	$\mu\text{g m}^{-3}$	350 (24-mal)	01.01.2005	Mensch	
Schwefeldioxid	24-h-Wert	$\mu\text{g m}^{-3}$	125 (3-mal)	01.01.2005	Mensch	
Schwefeldioxid	Jahresmittel	$\mu\text{g m}^{-3}$	20	19.07.2001	Ökosystem	emissionsfern <sup>1)</sup>
Schwefeldioxid	Wintermittel	$\mu\text{g m}^{-3}$	20	19.07.2001	Ökosystem	emissionsfern <sup>1)</sup>
Stickstoffdioxid	1-h-Wert	$\mu\text{g m}^{-3}$	200 (18-mal)	01.01.2010	Mensch	
Stickstoffdioxid	Jahresmittel	$\mu\text{g m}^{-3}$	40	01.01.2010	Mensch	
Stickstoffoxide	Jahresmittel	$\mu\text{g m}^{-3}$	30	19.07.2001	Vegetation	emissionsfern <sup>1)</sup>
PM <sub>10</sub>	24-h-Wert	$\mu\text{g m}^{-3}$	50 (35-mal)	01.01.2005	Mensch	
PM <sub>10</sub>	Jahresmittel	$\mu\text{g m}^{-3}$	40	01.01.2005	Mensch	
Blei	Jahresmittel	$\mu\text{g m}^{-3}$	0,5	01.01.2005	Mensch	
Benzol	Jahresmittel	$\mu\text{g m}^{-3}$	5	01.01.2010	Mensch	
Kohlenmonoxid	8-h-Wert	$\text{mg m}^{-3}$	10	01.01.2005	Mensch	

**Begriffserklärungen und Fußnoten:** Stickstoffoxide: NO + NO<sub>2</sub> (als NO<sub>2</sub>); PM<sub>10</sub>: Feinstaub (Particulate Matter) mit einem Durchmesser < 10  $\mu\text{m}$ ; Wintermittel: Mittelwert im Zeitraum 01.10.-31.03.

1) Messung 20 km entfernt von Ballungsräumen oder 5 km von Bebauung, Industrie oder Straßen

2) Ab 2010 (Stufe 2) sind strengere Grenzwerte für PM<sub>10</sub> vorgesehen.

Für den Zeitraum bis zum Jahr 2005 bzw. 2010 sind für einen Teil der o. g. Immissionsgrenzwerte Toleranzmargen vorgesehen, d. h. in einer Übergangszeit wird der jeweilige Grenzwert mit einer Toleranzspanne versehen, die von Jahr zu Jahr abgesenkt wird. Die folgende Tabelle zeigt die Summenwerte aus Grenzwert und jeweils erlaubter Toleranzmarge.

### Grenzwerte der 22. BImSchV inklusive Toleranzmargen.

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	Benzol	CO
Jahr	1-h-Wert	1-h-Wert	Jahresmittel	24-h-Wert	Jahresmittel	Jahresmittel	8-h-Wert
	[ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	[ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	[ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	[ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	[ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	[ $\mu\text{g m}^{-3}$ ]	[ $\text{mg m}^{-3}$ ]
2000	500	300	60	75	48	10	16
2001	470	290	58	70	46,4	10	16
2002	440	280	56	65	44,8	10	16
2003	410	270	54	60	43,2	10	14
2004	380	260	52	55	41,6	10	12
2005	350	250	50	50	40	10	10
2006		240	48	1)	1)	9	
2007		230	46			8	
2008		220	44			7	

[http://www.hlug.de/medien/luft/allgemein/eg\\_richtlinien.htm](http://www.hlug.de/medien/luft/allgemein/eg_richtlinien.htm)

## Grenzwerte Schweizerische Luftreinhalteverordnung

### Gesetzliche Immissionsgrenzwerte der Schweizerischen Luftreinhalteverordnung (1985).

Schadstoff	Immissionsgrenzwert	Statistische Definition
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	30 µg m <sup>-3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	100 µg m <sup>-3</sup>	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	100 µg m <sup>-3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	30 µg m <sup>-3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	100 µg m <sup>-3</sup>	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	80 µg m <sup>-3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Kohlenmonoxid (CO)	8 mg m <sup>-3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Ozon (O <sub>3</sub> )	100 µg m <sup>-3</sup>	98 % der ½-h-Mittelwerte eines Monats ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>
Ozon (O <sub>3</sub> )	120 µg m <sup>-3</sup>	1-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Schwebstaub (PM <sub>10</sub> )	20 µg m <sup>-3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Schwebstaub (PM <sub>10</sub> )	50 µg m <sup>-3</sup>	24-h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Blei (Pb) im Schwebestaub (PM <sub>10</sub> )	500 ng m <sup>-3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Schwebestaub (PM <sub>10</sub> )	1,5 ng m <sup>-3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)

(1) Feindisperse Schwebestoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm.

### Grenzwerte für Staubniederschläge der Schweizerischen Luftreinhalteverordnung (1985).

Schadstoff	Immissionsgrenzwert	
Staubniederschlag insgesamt	200 mg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Blei (Pb) im Staubniederschlag	100 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Staubniederschlag	2 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Zink (Zn) im Staubniederschlag	400 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Thallium (Tl) im Staubniederschlag	2 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)

mg = Milligramm: 1 mg = 0,001 g

µg = Mikrogramm: 1 µg = 0,001 mg

ng = Nanogramm: 1 ng = 0,001 µg

<http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.318.142.1.de.pdf>

<http://www.luftschaedstoffe.at>

## Luftgüte- und Luftqualitätsindices

### Bewertungsschema des Wiener Luftgüteindex.

Bewertung	Index	Ozon	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
		1h-Mittel	24h-Mittel	½h-Mittel	½h-Mittel	8h-Mittel
		µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	mg m <sup>-3</sup>
sehr gut	1	0 - 60	0 - 20	0 - 45	0 - 50	0 - 2,5
gut	2	61 - 90	21 - 35	46 - 100	51 - 85	2,6 - 3,5
befriedigend	3	91 - 130	36 - 50	101 - 140	86-120	3,6-5,0
unbefriedigend	4	131 - 180	51 - 100	141 - 200	121-200	5,1-10,5
schlecht	5	181 - 240	101 - 150	201 - 400	201 - 500	10,6 - 20,5
sehr schlecht	6	ab 241	ab 151	ab 401	ab 501	ab 20,6

[http://de.wikipedia.org/wiki/Wiener\\_Luftgüteindex](http://de.wikipedia.org/wiki/Wiener_Luftgüteindex)

### Luftqualitätsindex (Niedersachsen).

Bewertung	Index	Ozon	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
		1h-Mittel	24h-Mittel	1h-Mittel	1h-Mittel	8h-Mittel
		µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	mg m <sup>-3</sup>
sehr gut	1	0 - 32	0 - 9	0 - 24	0 - 24	0 - 0,9
gut	2	22 - 64	10 - 19	25 - 49	25 - 49	1,0 - 1,9
befriedigend	3	65 - 119	20 - 34	50 - 99	50 - 119	2,0 - 3,9
ausreichend	4	120 - 179	35 - 49	100 - 199	120 - 349	4,0 - 9,9
schlecht	5	180 - 239	50 - 99	199 - 499	350 - 999	10,0 - 29,9
sehr schlecht	6	> 240	> 100	> 500	> 1000	> 30,0

[http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C41810494\\_N41808967\\_L20\\_D0\\_I598.html](http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C41810494_N41808967_L20_D0_I598.html)

## **(2) GRENZWERTE (Böden)**

**Gesetzliche Grenzwerte für Österreich, Deutschland und die Schweiz, die (auch) zum Schutz der Vegetation bzw. der Ökosysteme vorgesehen sind, sind grau unterlegt**



## Mineralstoffgehalte (Boden, Phytomasse)

Durchschnittlicher Gehalt an mineralischen Elementen ( $\text{g kg}^{-1}$  TS) im Boden und in der Phytomasse von Landpflanzen, sowie durchschnittlicher Bedarf an Nährstoffen.

Element	Boden (Mittelwert)	Pflanzenmasse (Spanne)	Bedarf
Si	330	0,2 - 10	
Al	70	0,04 - 0,5	
Fe	40	0,002 - 0,7	Um 0,1
Ca	15	0,4 - 13	3 - 15
K	14	1 - 68	5 - 20
Mg	5	0,7 - 9	1 - 3
Na	5	0,02 - 1,5	
N	2	12 - 75	15 - 25
Mn	1	0,003 - 1	0,03 - 0,05
P	0,8	0,1 - 10	1,5 - 3
S	0,7	0,8 - 8,7	2 - 3
Sr	0,25	0,003 - 0,4	
F	0,2	Bis 0,02	
Rb	0,15	Bis 0,05	
Cl	< 0,1	0,2 - 10	> 0,1
Zn	0,09	0,001 - 0,4	0,01 - 0,05
Ni	0,05	Bis 0,005	
Cu	0,03	0,004 - 0,02	0,005 - 0,01
Pb	0,03	Bis 0,02	
B	0,02	0,008 - 0,2	0,01 - 0,04
Co	0,008	Bis 0,005	
Mo	0,003	Bis 0,001	< 0,0002

Altmann P.L., Dittmer D.S. 1972: Biology data book, Vol. 1: Fed. Amer. Soc. Exp. Biol, Bethesda.

Baumeister W., Ernst W. 1978: Mineralstoffe und Pflanzenwachstum. 3. Aufl. Fischer, Stuttgart.

Bowen H.J.M. 1979: Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London.

Epstein E. 1972: Mineral nutrition of plants. Wiley, New York.

Epstein E. 1994: The anomaly of silicon in plant biology. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 91, 11-17.

Lieth H., Markert B.A. 1988: Aufstellung und Auswertung ökosystemarer Element-Konzentrations-Kataster. Springer-Berlin.

Zitiert in: Larcher W. 2001: Ökophysiologie der Pflanzen. 6. Auflage. Eugen Ulmer Stuttgart.

## Alkalinität

### Alkalinität der Bodenlösung.

< -500	sehr sauer
-500 - 0	sauer
0 - 100	stark versauerungsgefährdet
100 - 200	versauerungsgefährdet
> 200	nicht versauerungsgefährdet

Umfassendes Maß für den Säurestatus von Lösungen. Sie entspricht der Summe aus  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  und organischen Ionen, sofern sie nicht durch  $\text{H}^+$  und  $\text{Al}^{n+}$  begleitet werden:

$$\text{ALK} (\mu\text{mol}_c \text{l}^{-1}) = \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- + \text{RCOO}^- - (\text{H}^+ + \sum \text{Al}^{n+})$$

Arbeitskreis C der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II 2000: Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustands und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Referat 533 (Hrsg.).

## Azidität

### Bewertung des Aziditätsgrad (Ma%) der Bodenlösung.

M <sub>a</sub> %	M <sub>b</sub> %	Bewertung
> 70 %	< 30 %	Sehr sauer
40 - 70 %	30 - 60 %	Sauer
5 - 40 %	60 - 95 %	Gering sauer
< 5 %	> 95 %	Nicht sauer

(Säuregrad, M<sub>a</sub> %) Anteil der M<sub>a</sub>-Kationen und H<sup>+</sup> an der gesamten Kationensumme (ohne NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Azidität in Prozent:

$$M_a \% = 100 * [(M_a + H^+) / (M_a + M_b + H^+)]$$

M<sub>a</sub>-Kationen: Säurekationen: Al, Fe, Mn (Molensumme)

M<sub>b</sub>-Kationen: Basenkationen: Ca, Mg, Na, K (Molensumme)

Arbeitskreis C der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II 2000: Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustands und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Referat 533 (Hrsg.).

## Boden-pH-Wert

### Einstufung und Bewertung des Boden-pH-Wertes (gemessen in CaCl<sub>2</sub>-Lösung).

Bezeichnung	pH-Wert-Bereich
Extrem alkalisch	≥ 10,7
Sehr stark alkalisch	10,0 - < 10,7
Stark alkalisch	9,3 - < 10,0
Mäßig alkalisch	8,6 - < 9,3
Schwach alkalisch	7,9 - < 8,6
Sehr schwach alkalisch	7,2 - < 7,9
Neutral	6,8 - < 7,2
Sehr schwach sauer	6,1 - < 6,8
Schwach sauer	5,4 - < 6,1
Mäßig sauer	4,7 - < 5,4
Stark sauer	4,0 - < 4,7
Sehr stark sauer	3,3 - < 4,0
Extrem sauer	< 3,3

Arbeitsgemeinschaft  
Forsteinrichtung, Arbeitskreis  
Standortskartierung 2003:  
Forstliche Standortaufnahme.  
Begriffe, Definitionen, Einteilungen,  
Kennzeichnungen, Erläuterungen.  
6. Auflage. IHW-Verlag Eching bei  
München.

## Boden-Pufferbereiche

### Pufferbereiche im Boden.

Carbonat-Pufferbereich pH-Werte 8,6 - 6,2	Pufferkapazität 150 kmol H <sup>+</sup> per 1 % CaO Nährstoffverhältnisse: Ca <sup>2+</sup> -, HCO <sub>3</sub> -Überschuss, K und Spurenelemente Anionenüberschuss (Phosphat-, Fe-Fällung)
Silikat-Pufferbereich pH-Werte 6,2 - 5,0	Pufferkapazität 25 kmol H <sup>+</sup> per 1 % Silikat Nährstoffverhältnisse: wenig Ca, Mg, K Kationen-/Anionenverhältnis ausgeglichen
Austauscher-Pufferbereich pH-Werte 5,0 - 4,2	Pufferkapazität 7 kmol H <sup>+</sup> per 1 % Ton Nährstoffverhältnisse: Auswaschung von Ca, Mg, K Kationenüberschuss (Al)
Aluminium-Pufferbereich pH-Werte 4,2 - 3,0	Pufferkapazität 150 kmol H <sup>+</sup> per 1 % Ton Nährstoffverhältnisse: starke bis vollständige Kationenauswaschung Überschuss an Al <sup>3+</sup> (Toxizität)
Eisen-Pufferbereich pH-Wert < 3,0	Nährstoffverhältnisse: extremer Nährstoffmangel und Fe-, Al-Toxizität, Fe <sup>3+</sup> und H <sup>+</sup> vorherrschend

Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, Arbeitskreis Standortkartierung 2003:  
Forstliche Standortaufnahme. Begriffe, Definitionen, Einteilungen,  
Kennzeichnungen, Erläuterungen. 6. Auflage. IHW-Verlag Eching bei München.

## Kationenaustauschkapazität, Basensättigung

### Kationenaustauschkapazität (KAK).

Kationenaustauschkapazität (mval kg <sup>-1</sup> )	Beurteilung
bis 30	extrem niedrig
20 - 50	sehr niedrig
50 - 100	niedrig
100 – 250	ausreichend
250 – 500	hoch
> 500	sehr hoch

Amt der Salzburger Landesregierung 1993: Salzburger Bodenzustandsinventur.

### Basensättigungsgrad (V-Wert).

Basensättigung (%)	Beurteilung
bis 5	extrem niedrig
6 – 10	sehr niedrig
11 – 20	niedrig
21 – 30	mäßig bis ausreichend
31 – 98	ausreichend bis hoch
99, 100	voll basengesättigt

Amt der Salzburger Landesregierung 1993: Salzburger Bodenzustandsinventur.

### Potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK<sub>pot</sub>) in Abhängigkeit vom Humusgehalt.

Humus In Masse-%	KAK <sub>pot</sub> cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>
< 1	< 2
1 - < 2	2 - < 4
2 - < 4	4 - < 8
4 - < 8	8 - < 16
8 - < 15	16 - < 30
15 - 30	30 - 60

Arbeitsgemeinschaft  
Forsteinrichtung,  
Arbeitskreis  
Standortskartierung  
2003:  
Forstliche

Standortsaufnahme. Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen.  
6. Auflage. IHW-Verlag Eching bei München.

## Basensättigungsgrad und pH-Wert

### Beziehung zwischen Basensättigungsgrad (BS) und pH-Wert.

Bezeichnung	In %	pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )
Sehr basenarm	< 5	< 3,3
Basenarm	5 - < 20	3,3 - < 3,8
Mittelbasisch	20 - < 50	3,8 - < 4,8
Basenreich	50 - < 80	4,8 - < 6,0
Sehr basenreich bis basengesättigt	80 - 100	≥ 6,0

Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung,  
Arbeitskreis Standortkartierung 2003: Forstliche  
Standortsaufnahme. Begriffe, Definitionen,  
Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen.  
6. Auflage. IHW-Verlag Eching bei München.

## Basen-Säure-Verhältnis (Ca/Al-Verhältnis)

### Basen-Säure Verhältnis (Waldböden; Amt der Salzburger Landesregierung 1993).

Ca/Al-Verhältnis	Bewertung	Ca / H <sup>+</sup> -Verhältnis
> 10	Sehr gut	> 2,0
1,0 – 10	ausreichend	1,0 – 2,0
0,3 – 1,0	Gefährdung gegenüber Säureschäden	0,5 – 1,0
0,1 – 0,3	Starke Gefährdung gegenüber Säureschäden	0,1 – 0,5
< 0,1	Sehr starke Gefährdung gegenüber Säureschäden	< 0,1

### Bewertung des Ca/Al-Verhältnisses in der Bodenlösung humusfreier Horizonte (Cronan und Grigal 1995).

Ca/Al-Verhältnis	Bewertung
> 1,5	Normal, Al-Stress unwahrscheinlich
1,0 - 1,5	Niedrig; Al-Stress bei empfindlichen Arten (z.B. Edellaubäumen, krautigen Pflanzen) nicht auszuschließen
0,1 – 1,0	Sehr niedrig, Al-Stress möglich
< 0,1	Äußerst niedrig, Al-Stress wahrscheinlich

### Bewertung des molaren Ca/Al-Verhältnisses in der Bodenlösung als Kriterium der Elastizität bezüglich der toxischen Wirkung von Aluminium auf Fichten- und Buchenwurzeln nach Hydrokulturversuchen von Rost-Siebert (1984, in Meiwes et al. 1984).

Ca/Al-Verhältnis	Bewertung
<b>Fichte</b>	
> 1	Keine Gefährdung durch Al-Toxizität
0,3 - 1,0	Zunehmende Gefährdung durch Al-Toxizität. Erhöhter Wurzelumsatz infolge erhöhter Regeneration geschädigter Wurzeln. Das Wurzellängenwachstum der Langwurzeln wird bereits erheblich beeinträchtigt. Kalkung angebracht.
0,1 - 0,3	Starke Gefährdung durch Al-Toxizität. Die Ausbildung von Kurzwurzeln ist eingeschränkt. Im Hydrokulturversuch findet kein Wurzellängenwachstum mehr statt. Kalkung dringlich.
< 0,1	Sehr starke Gefährdung durch Al-Toxizität. Eine umfassende Schädigung des extensierenden Feinwurzelsystems ist möglich. Kalkung sehr dringlich.
<b>Buche</b>	
0,1 - 1,0	Nur geringe Gefährdung durch Al-Toxizität. Kalkung angebracht.
< 0,1	Starke Gefährdung, Kalkung dringlich.

Amt der Salzburger Landesregierung 1993: Salzburger Bodenzustandsinventur.  
Nach: Ulrich B. 1983: Ökologische Gruppierung von Boden nach ihrem chemischen Bodenzustand. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 144.

Arbeitskreis C der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II 2000: Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustands und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Referat 533 (Hrsg.).

Cronan C.S., Grigal D.F. 1995: Use of Ca/Al ratios as indicators of stress in forest ecosystems. J. Environ. Qual. 24, 209-226.

Meiwes K.J. et al. 1984: Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralböden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung

in Waldböden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme - Waldsterben der Universität Göttingen, Bd. 7.

Rost-Siebert K. 1983: Aluminiumtoxizität und Toleranz an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies* Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica*). Allg. Forstzeitschr. 686-689.

## Nitratauswaschungsgefahr

### Bewertung der Nitratauswaschungsgefahr in Waldböden.

C/N (g/g)	Bewertung
> 30	Gering
20 - 30	Mittel
< 20	Hoch

Matzner E., Großholz C. 1997: Beziehung zwischen Nitratausträgen, C/N-Verhältnissen der Auflage und N-Einträgen in den Fichtenwald (*Picea abies* Karst.)-Ökosystemen Mitteleuropas. Forstw. Centralbl. 116, 39-44.

Zitiert in: Arbeitskreis C der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II 2000: Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustands und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Referat 533 (Hrsg.).

## Tolerierbare Konzentrationen in der Bodenlösung

### Tolerierbare N-Konzentration in der Bodenlösung.

Impact	[N] <sub>acc</sub> (mgN/L)
<b>Vegetation changes (data established in Sweden)</b>	
Lichens to cranberry (lingonberries)	0.2–0.4
Cranberry to blueberry	0.4–0.6
Blueberry to grass	1–2
Grass to herbs	3–5
<b>Vegetation changes (data established in The Netherlands)</b>	
Coniferous forest	2.5–4
Deciduous forest	3.5–6.5
Grass lands	3
Heath lands	3–6
<b>Other impacts on forests</b>	
Nutrient imbalances	(0.2–0.4)
Elevated nitrogen leaching/N saturation	1
Fine root biomass/root length	1–3
Sensitivity to frost and fungal diseases	3–5

ICP Modelling & Mapping (2004): Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. UBA-Texte 52/2004, Berlin (aktualisierte Version 05/2010 im Internet unter [www.icpmapping.org](http://www.icpmapping.org))

<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4137.pdf>

## Anionenhaushalt

**Kennwerte für den Anionenhaushalt (Sulfat und Nitrat) von Waldökosystemen.**

<b>Input - Output (kmol<sub>e</sub>/ha.a)</b>	<b>Input / Output (%)</b>	<b>Bewertung</b>
> 1	> 200	Starke Senkenfunktion
0,5 bis 1,0	140 - 200	Mäßige Senkenfunktion
0,5 bis -0,5	70 - 140	Ausgeglichene Bilanz
-0,5 bis -1,0	50 - 70	Mäßige Quellenfunktion
< -1	< 50	Starke Quellenfunktion

Arbeitskreis C der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II 2000: Kennwerte zur Charakterisierung des ökochemischen Bodenzustands und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Referat 533 (Hrsg.).

## Säurebelastbarkeit, Faktoren der Bodenversauerung

### Einflussfaktoren auf die Säurebelastbarkeit des Bodens.

Einflussgröße	Vermindert Säurebelastbarkeit	Erhöht Säurebelastbarkeit
Jahresniederschlag	hoch	gering
Vegetation	Nadelwald	Laubwald
Seehöhe	hoch	niedrig
Bodenart	sandig	lehmig / tonig
Ausgangsgestein	quarzreich (karbonatfrei)	karbonatreich
Wasserabfluss	ungehemmt	gehemmt
Bodentiefe	seichtgründig	tiefgründig
Bewirtschaftung	naturfern	naturnah
Nährstoffkreislauf	entkoppelt	geschlossen

Amt der Salzburger Landesregierung 1993: Salzburger Bodenzustandsinventur.

### Faktoren der Bodenversauerung (Waldböden; $\text{kmol ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ):

Bestandeswachstum	bis 1,3
Holzernte ohne Rinde	0,4
Vollbaumernte	1,4
Energiewaldernte	2,0 – 5,0
Streunutzung	4,0 – 6,0
Ammonium aus der Landwirtschaft	bis 2,0
Säuredeposition	bis 1,2

Amt der Salzburger Landesregierung 1993:  
Salzburger Bodenzustandsinventur. Nach Glatzel  
G. 1988.

## Stickstoffstatus in Koniferenbeständen

Characteristics of coniferous forest ecosystems with low, intermediate and high N status, as grouped according to total N<sub>r</sub> (reactive nitrogen) input.

Nitrogen status	Low N status (N limited)	Intermediate	High N status (N-saturated)
Input (kg N ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	0 - 15	15 - 40	40 - 100
Needle N% in spruce	< 1.4	1.4 - 1.7	1.7 - 2.5
C/N ratio (gC per g N)	> 30	25 - 30	< 25
Soil N flux density proxy (litterfall + throughfall, kg N ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	> 60	60 - 80	> 80
Proportion of input leached (%)	< 10	0 - 60	30 - 100

Sutton M.A., Howard C.M., Erisman J.W., Billen G., Bleeker A., Grennfelt P., Grinsven H.v., Grizzetti B. (eds.) 2011: The European nitrogen assessment. Technical Summary. Cambridge University Press. ISBN: 978-1-107-00612-6.

## Schwermetalleinträge

### Schwermetalleinträge (g ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>).

	emittenten- fern	emittenten- nah	Grenzwert	Klär- schlamm	Phosphat- dünger	Kalk
Lit.:	(1)	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)
Mo	-	-	-	50	0 – 4,2	0 – 23
Cu	16	660	2500	1250	0 – 21	3 – 188
Zn	100	2100	10.000	5000	4 – 102	15 – 675
Pb	60	730	2500	1250	0,5 – 16	30 – 1875
Ni	5	140	-	250	0 – 3	15 – 30
Cr	3	166	-	1250	5 – 17	15 – 23
Cd	2	70	50	25	0 – 12	0 – 0,15
Co	0,5	17	-	250	0 – 0,8	1,5 – 18
Hg	-	-	-	25	0 – 0,08	0 – 1,8
As	-	-	-	50	0 - 84	0 - 36

- (1) Bundesamt für Umweltschutz Bern 1987: Erläuterung zur Verordnung über Schadstoffe im Boden. Texte zum Umweltschutzgesetz, Bern.
- (2) Zweite VO gegen forstschädliche Luftverunreinigungen, BGBl. 199/1984.
- (3) Amt der Tiroler Landesregierung 1987.
- (4) Kabata-Pendias A., Pendias H. 1984: Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida.

(1) – (4) zitiert in: Amt der Tiroler Landesregierung 1988: Bericht über den Zustand der Tiroler Böden.

## Schwermetall-Konzentrationen im Boden (1)

### Schwermetallkonzentrationen im Boden.

	<b>sehr niedrig</b>	<b>niedrig</b>	<b>mittel</b>	<b>hoch</b>	<b>sehr hoch</b>
Austauschbare Kationen (mval/100g)	< 6	6 - 12	12 - 20	20 - 28	> 28
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Arsen	< 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	> 20
Blei	< 10	10 - 20	20 - 50	50 - 100	> 100
Cadmium	< 0,10	0,10 - 0,25	0,25 - 0,50	0,50 - 1,00	> 1,00
Chrom	< 30	30 - 50	50 - 60	60 - 100	> 100
Cobalt	< 7	7 - 12	12 - 20	20 - 50	> 50
Kupfer	< 15	15 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100
Nickel	< 20	20 - 30	30 - 40	40 - 60	> 60
Molybdän	< 0,3	0,3 - 0,6	0,6 - 2,0	2,0 - 5,0	> 5,0
Quecksilber	< 0,15	0,15 - 0,25	0,25 - 0,50	0,50 - 1,0	> 1,0
Selen	< 0,15	0,15 - 0,30	0,30 - 1,00	1,0 - 5,0	> 5,0
Zink	< 60	60 - 90	90 - 150	150 - 300	> 300

Blum W.E.H., Klaghofer E., Kochl A., Ruckebauer P. 1997: Bodenschutz in Österreich. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

## Schwermetall-Konzentrationen im Boden (2)

Schwermetallkonzentrationen im lufttrockenen Kulturboden (mg kg<sup>-1</sup>).

	<b>häufig</b>	<b>maximal</b>	<b>tolerierbar</b>	<b>hoch *)</b>
Arsen	0,1 - 20	< 8000	20	15 - 20
Blei	0,1 - 20	< 10.000	100	50 - 100
Cadmium	0,01 - 1	< 200	3	0,50 - 1,00
Chrom	2 - 50	< 20.000	100	60 - 100
Cobalt	1 - 10	< 800	50	20 - 50
Kupfer	1 - 20	< 22.000	100	50 - 100
Nickel	2 - 50	< 200	50	40 - 60
Molybdän	0,2 - 5	< 500	5	2,0 - 5,0
Quecksilber	0,01 - 1		2	0,50 - 1,0
Selen	0,01 - 5		10	1,0 - 5,0
Zink	3 - 50	< 1000	300	150 - 300

\*) Blum W.E.H., Klaghofer E., Kochl A., Ruckenbauer P. 1997: Bodenschutz in Österreich. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.

Hock B., Elstner E.F. 1995: Schadwirkungen auf Pflanzen. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin, Oxford.

## Schwermetall-Konzentrationen im Boden (3)

**Schwermetallgehalte in Böden und kritische Gesamtkonzentrationen (mg kg<sup>-1</sup>).**

Element	Gehalte im Boden (1)	Kritische Gesamtkonz. im Boden (2)
Ag	0,01 - 8	2
As	0,1 – 40	20 - 50
Au	0,001 – 0,02	-
Cd	0,01 – 2,0	3 - 8
Co	0,5 - 65	25 - 50
Cr	5 - 1500	75 - 100
Cu	2 - 250	60 - 125
Hg	0,01 – 0,5	0,3 - 5
Mn	20 – 10.000	1500 – 3000
Mo	0,1 - 40	2 - 10
Ni	2 - 750	100
Pb	2 - 300	100 - 400
Sb	0,2 – 10	5 - 10
Se	0,1 - 5	5 - 10
Sn	1 - 200	50
Tl	0,1 – 0,8	1
U	0,7 - 9	-
V	3 - 500	50 - 100
W	0,5 - 83	-
Zn	1 - 900	70 - 400

(1) Daten hauptsächlich aus: Bowen H.J.M. 1979: Environmental Chemistry of the elements. Academic Press, London.

(2) Die kritischen Gesamtkonzentrationen in Böden bezeichnen den Bereich, oberhalb dessen toxische Effekte als möglich angesehen werden. Aus: Kabata-Pendias A., Pendias H. 1992: Trace elements in soils and plants. 2. Auflage. CRC Press, Boca Raton/FL.

Zitiert in: Alloway B.J.; Reimer T. 1999: Schwermetalle in Böden: Analytik, Konzentration, Wechselwirkungen. - Berlin : Springer-Verlag ISBN 3-540-62086-9.

## Critical Levels / Loads für Schwermetalle

### Kritische Konzentrationen von Schwermetallen in Humusauflagen ( $\mu\text{g g}^{-1}$ trockener Boden; nach Tyler 1992).

	Cd	Cu	Pb	Zn	Hg	Cr(III)	Cu + Zn
Aktivität Bodenenzyme	3,5 - 7	20	$\geq 500$	600	-	> 30	200
Bodenatmung	3,5 - 7	20	$\geq 500$	600	0,75	> 30	200
N-Umsatz	–	20	–	–	0,75?	–	200
Mikroflora	7	20 - 35	$\geq 500$	300?	1,25	–	200 - 300
Boden- invertebraten	> 10	< 100	150	< 500	< 2,5	–	< 600

Tyler G. 1992: Critical concentrations of heavy metals in the Mor Horizon of Swedish forests. SNV-Report 4078. Solna.

Zitiert in: Elling W., Heber U., Polle A., Beese F. 2007: Schädigung von Waldökosystemen. Auswirkungen anthropogener Umweltveränderungen und Schutzmaßnahmen. Elsevier.

### Critical Loads für Schwermetalle.

Element		Critical Loads, 5- Perzentil	Schutzgut
	$\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{g ha}^{-1} \text{a}^{-1}$	
Pb		< 5 - > 30	Gesundheit
Cd		< 1 - > 5	Gesundheit / Umwelt
Cu	1 – 50 *)	< 10 - > 60	Forst / Ökosystemfunktion
Zn	20 – 90 *)	< 100 - > 600	Forst / Ökosystemfunktion
Cr	44	< 20 - > 120	Forst / Ökosystemfunktion
Ni	25 – 700 *)	< 20 - > 120	Landwirtschaft / Gesundheit
As	70	< 10 - > 100	Landwirtschaft / Gesundheit
Se	1	< 1 - > 6	Forst / Ökosystemfunktion
Hg		< 0,05 - > 0,30	Gesundheit / Umwelt

\*) pH- und DOC-abhängige Funktion

Hettelingh J.P., H. Denier van der Gond, B.J. Groeneberg, I. Ilyin, G.J. Reinds, J. Slootweg, O. Travnikov, A. Visschedijk, W. de Vries 2006: Heavy metal emissions, depositions, Critical Loads and exceedances in Europe. VROM-DGM, Directie Klimaatverandering en Industrie, IPC 650, P.O. Box 20951, +32.30.274.3048.

## Grenzwerte für Schwermetalle im Boden

### Kritische Schwermetallkonzentrationen im Boden.

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Hg</b>	<b>Cr(III)</b>
Grenzbelastung des Bodens * 1000 g ha <sup>-1</sup> (30cm)	270	900 / 675	450		225	4,5	
Kritische Konzentrationen in Humusaufgaben (mg kg <sup>-1</sup> ) getrockneter Boden (nach Taler 1992)							
Aktivität Bodenenzyme	20	600	≥ 500	20		0,75	> 30
Bodenatmung	20	600	≥ 500	20		0,75?	> 30
Stickstoffumsatz	20			20		1,25	
Mikroflora	20 – 35	300?	≥ 500	20 - 35			
Bodeninvertebraten	< 100	< 500	150	< 100		< 500	
Grenzwerte in Waldböden im Hinblick auf die Gefährdung von Mikroorganismen (nach Empfehlung von Van Mechelen et al. 1997).	60	170	100 - 400		95		75 - 100

\*) Originaleinheiten umgerechnet auf die Jahreseinträge der Elemente

Kuntze H., Roeschmann G., Schwerdtfeger G. 1994: Bodenkunde. 5. Aufl. UTB  
Eugen Ulmer Stuttgart.

Elling W., Heber U., Polle A., Beese F. 2007: Schädigung von Waldökosystemen.  
Auswirkungen anthropogener Umweltveränderungen und Schutzmaßnahmen.  
Elsevier Amsterdam, New York, Tokio.

Van Mechelen L., Groenemans R., van Ranst E. 1997: Forest soil condition in  
Europe, results of a large soil survey. Technical Report. EC, UN-ECE.

## Kritische Pb- und Cd-Konzentrationen im Boden (1)

### Gesetzliche und wirkungsbezogene Grenzwerte und Beurteilungswerte für Blei. \*) Smeets et al. (2000).

<b>Gesetzliche Grenzwerte für Einträge</b>	
Gesetzlicher Grenzwert für Staubdeposition (Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen, BGBl. 199/1984)	2.500 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Schweizerische Luftreinhalteverordnung Originaleinheit:	365 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> 100 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte für Einträge</b>	
Critical Load auf der Basis No Effect Concentration (CL-NOEC *)	5,8 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Critical Load auf der Basis Lowest Observed Effect Concentration (CL-LOEC *)	10,0 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte für Konzentrationen in Waldböden</b>	
Kritische Konzentrationen in Waldböden im Hinblick auf Mikroorganismen (Humusschicht)	(<) 500 ppm

### Grenzwerte und Beurteilungswerte für Cadmium. \*) Smeets et al. (2000).

<b>Gesetzliche Grenzwerte für Einträge</b>	
Gesetzlicher Grenzwert für Staubdeposition (Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen, BGBl. 199/1984)	50 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Schweizerische Luftreinhalteverordnung Originaleinheit:	7,3 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> 2 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte für Einträge</b>	
Critical Load auf der Basis No Effect Concentration (CL-NOEC *)	0,55 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Critical Load auf der Basis Lowest Observed Effect Concentration (CL-LOEC *)	1,3 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte für Konzentrationen in Waldböden</b>	
Kritische Konzentrationen in Waldböden im Hinblick auf Mikroorganismen (Humusschicht)	3,5 ppm

Hock B., Elstner E.F. 1995: Schadwirkungen auf Pflanzen. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin, Oxford.

Smeets W., van Pul A., Ecrens H., Sluyter R., Pearce D.W., Howarth A., Visschedijk A., Pulles M.P.J., de Hollander G. 2000: Technical Report on chemicals, particulate matter, human health, air quality and noise. RIVM Report 48, 150 50 15. Bilthoven/NL.

## Kritische Pb- und Cd-Konzentrationen im Boden (2)

**Kritische Pb- und Cd-Konzentrationen (mg kg<sup>-1</sup>) in der Humusschicht und im Mineralboden unter Berücksichtigung der Mikrobionta und Invertebraten und kritische toxische Bereiche oberhalb derer toxische Effekte möglich sind.**

	<b>Microbionta / Humusschicht</b>	<b>Invertebraten / Humusschicht</b>	<b>Kritischer toxischer Bereich</b>
	De Vries & Bakker (1996)		Dosskey & Adriano (1991)
Pb	500	150	100 - 400
Cd	3,5	10	3 - 8

**Schema zur Beurteilung der aktuellen Bodengefährdung durch Schwermetalle (Amt der Tiroler Landesregierung 1988).**

<b>Belastung</b>	<b>Bindungskraft</b>	<b>Gefährdung der Bodenfunktionen</b>
Hoch (> 100 % des Grenzwertes)	gering mittel hoch	extrem gefährdet stark gefährdet gefährdet
Mittel (25/30 – 100 % des Grenzwertes)	gering mittel hoch	stark gefährdet gefährdet kaum gefährdet
Gering (0 – 25/30 % des Grenzwertes)	gering mittel hoch	kaum gefährdet nicht gefährdet nicht gefährdet

Amt der Tiroler Landesregierung 1988: Bericht über den Zustand der Tiroler Böden. Nach Blum (1989).

Dosskey M.G., Adriano D.C. 1991: Trace metal impact on plants: Mediation by soil and mycorrhizae. In: The deposition and fate of trace metals in our environment. United States Dept. of Agriculture, Forest Service, General Technical Rept. NC-150, 105-115.

deVries W., Bakker D.J. 1996: Manual for calculating Critical Loads of heavy metals for soils and surface waters. Preliminary guidelines for environmental quality criteria calculation methods and input data. DLO Winard Staring Centre, Wageningen (The Netherlands). SC Report 114.

## Kritische Cu- und Zn-Konzentrationen im Boden

### Grenzwerte und Beurteilungswerte für Kupfer. \*) Smeets et al. (2000).

<b>Gesetzliche Grenzwerte für Einträge</b>	
Gesetzlicher Grenzwert für Staubdeposition (Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen, BGBl. 199/1984)	2500 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Critical Load auf der Basis No Effect Concentration (CL-NOEC) *)	12,5 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Critical Load auf der Basis Lowest Observed Effect Concentration (CL-LOEC) *)	2,7 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte für Konzentrationen in Waldböden</b>	
Kritische Konzentrationen in Waldböden im Hinblick auf Mikroorganismen	60 ppm

### Grenzwerte und Beurteilungswerte für Zink. \*) Smeets et al. (2000).

<b>Gesetzliche Grenzwerte für Einträge</b>	
Gesetzlicher Grenzwert für Staubdeposition (Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen)	10.000 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Schweizerische Luftreinhalteverordnung Originaleinheit:	1460 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> 400 µg m <sup>-2</sup> Tag <sup>-1</sup>
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte für Einträge</b>	
Critical Load auf der Basis No Effect Concentration (CL-NOEC) *)	11,2 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
Critical Load auf der Basis Lowest Observed Effect Concentration (CL-LOEC) *)	20,7 g ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
<b>Wirkungsbezogene Grenzwerte für Konzentrationen in Waldböden</b>	
Kritische Konzentrationen in Waldböden im Hinblick auf Mikroorganismen	170 mg kg <sup>-1</sup>
Phytotoxischer Grenzwert, ab dem Ertragseinbuße eintritt	190 - 450 mg kg <sup>-1</sup>

Hock B., Elstner E.F. 1995: Schadwirkungen auf Pflanzen. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin, Oxford.

Smeets W., van Pul A., Ecrens H., Sluyter R., Pearce D.W., Howarth A., Visschedijk A., Pulles M.P.J., de Hollander G. 2000: Technical Report on chemicals, particulate matter, human health, air quality and noise. RIVM Report 48, 150 50 15. Bilthoven/NL.

## Elementgehalte in Böden

**Orientierungsdaten für tatsächliche und tolerierbare Gesamtkonzentrationen (mg kg<sup>-1</sup>) einiger Elemente in lufttrockenen Kulturböden (auch Hock und Elstner, 1985; nach Cramer et al., 1981).**

Element	Häufig / maximal *)	tolerierbar
As	0,1 - 20 / 8000	20
B	5 - 20 / 1000	25
Be	0,1 - 5 / 2300	10
Br	1 - 10 / 600	10
Cd	0,01 - 1 / 200	3
Co	1 - 10 / 800	50
Cr	2 - 50 / 20.000	100
Cu	1 - 20 / 22.000	100
F	50 - 200 / 8000	200
Ga	0,1 - 10 / 300	10
Hg	0,01 - 1 / 500	2
Mo	0,2 - 5 / 200	5
Ni	2 - 50 / 10.000	50
Pb	0,1 - 20 / 4000	100
Sb	0,01 - 0,5	5
Se	0,01 - 5 / 1200	10
Sn	1 - 20 / 800	50
Tl	0,01 - 0,5 / 40	1
Ti	10 - 5000 / 20.000	5000
U	0,01 - 1 / 115	5
V	10 - 100 / 1000	50
Zn	3 - 50 / 20.000	300
Zr	1 - 300 / 600	300

\*) in besonderen oder kontaminierten Böden

Cramer H.H., Kloke A., Jarczyk H.J., Kick H. 1981: Bodenkontamination. Ullmanns Enzyklopedie der technischen Chemie, 4. Aufl., Band 6, 501-516. Verlag Chemie, Weinheim.

Wallnöfer P.R., Engelhardt G. 1985: Schadstoffe, die aus dem Boden aufgenommen werden. In: Hock B, Elstner E. 1985: Pflanzentoxikologie. Der Einfluss von Schadstoffen und Schadwirkungen auf Pflanzen. Bibliographisches Institut Mannheim-Wien-Zürich, BI Wissenschaftsverlag, 97-117.

## Elementgehalte in Böden, Transferkoeffizienten, kritische Werte

**Transferkoeffizienten Boden-Pflanze, normale Gehalte in Böden, normale und kritische Konzentrationen von Schwermetallen im Pflanzenmaterial (bezogen auf Trockensubstanz).**

	normal	Grenzwert	Transferkoeffizient Boden-Pflanze	Normal in Pflanzen	Kritisch für Pflanzenwuchs
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup> *)		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
<b>Cd</b>	0,01 - 0,7	3	1 - 10	< 0,1 - 1	1 - 10
<b>Co</b>	1 - 10	(50)	0,01 - 0,1	0,01 - 0,5	10 - 20
<b>Cr</b>	2 - 50	100	0,01 - 0,1	< 0,1 - 1	1 - 2
<b>Cu</b>	1 - 40	100	0,1 - 1	3 - 15	15 - 20
<b>Hg</b>	0,01 - 0,5	2	0,01 - 0,1	< 0,1 - 0,5	0,5 - 1
<b>Ni</b>	2 - 50	50	0,1 - 1	0,1 - 5	20 - 30
<b>Pb</b>	0,1 - 20	100	0,0 - 0,1	1 - 5	10 - 20
<b>Tl</b>	0,01 - 0,5	(1)	1 - 10	< 0,5 - 5	20 - 30
<b>Zn</b>	3 - 50	300	1 - 10	15 - 150	150 - 200
<b>As</b>	0,1 - 20	(20)	0,01 - 0,1	< 0,1 - 5	10 - 20
<b>B</b>	3 - 100	(25)	1 - 10	5 - 30	> 75
<b>Be</b>	0,2 - 40	0,01 - 0,1	0,01 - 0,5	> 1	?
<b>F</b>	20 - 400	(200)	0,01 - 0,1	1 - 5	> 50
<b>Mo</b>	0,2 - 5	0,1 - 10	0,1 - 3	> 100	10 - 58
<b>Se</b>	0,01 - 5	(5)	0,1 - 10	0,1 - 2	10 - 20
<b>Sn</b>	1 - 20	0,0 - 0,1	?	> 60	?
<b>V</b>	0,01 - 200	0,1 - 1	0,1 - 1	10	10 - 50

\*) Grenzwerte der KlärschlammVO; (): in Diskussion  
Aus Sauerbeck (1985), nach Kloke et al. (1984,  
ergänzt), zitiert in: Blume H.P. 2004: Handbuch des  
Bodenschutzes, 3. Auflage. Ecomed

## Schwermetall-Grenzwerte für Waldböden (Mikroben)

**Schwermetallgrenzwerte in Waldböden im Hinblick auf die Gefährdung von Mikroorganismen ( $\text{mg kg}^{-1}$ ; nach Empfehlung von Van Mechelen et al. 1997).**

	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Mineralboden nach Witter (1992) oder Kabata-Pendias und Pendias (1984)	75 - 100	60	95	100 - 400	170

Zitiert in:

Elling W., Heber U., Polle A., Beese F. 2007: Schädigung von Waldökosystemen. Spektrum Akademischer Verlag.

Kabata-Pendias und Pendias 1984: Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton.

Witter E. 1992: Heavy metal concentrations in agricultural soils critical to microorganisms. Swedish Environmental Protection Agency, Report 4079.

## Natürliche und kritische Schwermetallkonzentrationen im Boden

Natürliche und kritische Schwermetallkonzentrationen im Boden (mg kg<sup>-1</sup>).

Element	Natürlicher Bereich	Kritischer toxischer Bereich
Hg	0,01 - 0,5	0,3 - 8
Cd	0,01 - 2	3 - 8
Mo	0,1 - 40	2 - 10
As	0,1 - 40	20 - 50
Co	0,5 - 65	25 - 50
Cu	2 - 250	60 - 125
Pb	2 - 300	100 - 400
Ni	2 - 750	100
Cr	5 - 1500	75 - 100
Zn	1 - 900	70 - 400

Dosskey M.G., Adriano D.C. 1991: Trace metal impact on plants: Mediation by soil and mycorrhizae. In: The deposition and fate of trace metals in our environment. Symposium Philadelphia, PA, October 8, 1991. Proceedings 105-115.

## Cu-, Zn-, Cd- und Pb-Grenzwerte für Bodenwasser

Grenz- und Schwellenwerte für Schwermetalle im Bodenwasser (µg L<sup>-1</sup>).

	Cu	Zn	Cd	Pb
Grenzwert TrinkwasserVO (DBR)	3000	5000	5	40
Critical Limits für Pflanzen	2,5	25	2	15
Critical Limits für Mikroorganismen			0,18	
Critical Limits für aquatische Organismen	1,1	6,6	0,34	11

De Vries W., Bakker D.J. 1998: Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystems. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, SC Report 166, 1-144.

### **(3) GRENZWERTE und ELEMENTGEHALTE (Blattorgane)**



## Grenzwerte für Blattorgane (Forstverordnung)

**Grenzwerte für Höchstanteile am Bewuchs (TS) gemäß Zweiter VO gg. forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. 199/1984). Mg% = mg in 100 g.**

	Indikatorbaumart	Nadeljahrgang 1	Nadeljahrgang 2	Nadeljahrgang 3
Sulfat-S	Fichte	0,08 %	0,11 %	0,14 %
Gesamt-S	Fichte	0,11 %	0,14 %	0,17 %
Gesamt-S	Buche	0,08 %		
Fluor	Fichte	0,8 mg%	1,0 mg%	1,0 mg%
Fluor	Buche	0,8 mg%		
Chlor	Fichte	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Chlor	Buche	0,1 %		
Stickstoff	Fichte	2,2 %		
Phosphor	Fichte	0,3 %		
Kalium	Fichte	0,85 %		
Calcium	Fichte	0,9 %		
Magnesium	Fichte	0,2 %		

**Klassifikation für Schwefelgehalte in Fichtennadeln (Nadeljahrgänge 1 und 2, % Trockensubstanz).**

Klasse	Nadeljahrgang 1	Nadeljahrgang 2
1	< 0,081	< 0,101
2	0,081 – 0,110	0,101 – 0,140
3	0,111 – 0,150	0,141 – 0,190
4	> 0,150	> 0,190

**Gesamtklassifikation für Schwefelgehalte (Nadeljahrgänge 1 und 2, basierend auf den in der oberen Tabelle angegebenen Klassen).**

Gesamtklassifikation	Summe der Klassenwerte gemäß der obenstehenden Tabelle	SO <sub>2</sub> -Immissionseinwirkung
1	2	auszuschließen
2	3, 4	möglich
3	5, 6	vorhanden
4	7, 8	stark

Stefan K., Fürst A. 1998: Indication of S and N Inputs by means of needle analyses based on the Austrian Bio-Indicator Grid. Environmental Science and Pollution Research, Special Issue No. 1, 63-70.

## Schadstoffgrenzwerte für Fichten- und Kiefernadeln

### Blei- und Cadmiumgehalte in Fichtennadeln (mg kg<sup>-1</sup>).

Element	minimal	normal	leicht erhöht	mäßig erhöht	sehr erhöht
Blei	< 3,0	3,0-5,9	6,0-11,9	12,0-20,0	>20,0
Cadmium	< 0,05	0,05-0,09	0,10-0,14	0,15-0,20	>0,20

### Quecksilbergehalte in Fichten- und Kiefernadeln (mg kg<sup>-1</sup>).

Bewertung	Gehalte
niedere natürliche Gehalte	< 0,012
leicht erhöhte natürliche Gehalte	> 0,012 bis 0,017
erhöhte Gehalte	> 0,017 bis 0,022
deutlich erhöhte Gehalte	> 0,022

Arndt U., Nobel W., Schweitzer B. 1987: Bioindikatoren - Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse Ulmer Verlag Stuttgart.

Burg J. van den 1985: Foliar analysis for determination of tree nutrient status - A compilation of literature data. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos - en landschapsbouw "De Dorschkamp" Wageningen Rapport nr. 414, 615S.

Burg J. van den 1990: Foliar analysis for determination of tree nutrient status - a compilation of literature data. 2. Literature 1985-1989. "De Dorschkamp", Institute for Forestry and Urban Ecology Wageningen, the Netherlands Rapport nr. 591, 220S.

Bergmann W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag Stuttgart. 614S.

Foerst K., Sautner U., Neuerburg W. 1987: Bericht zur Ernährungssituation der Wälder in Bayern und über die Anlage von Walddüngungsversuchen. Forstliche Forschungsberichte, Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, München, 79.

Fürst A. 2009: Beurteilungswerte für Quecksilbergehalte in Nadeln von Waldbäumen. Forstschutz Aktuell 47/2009, 29-31.

Tabelle aus: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.window?dok=6225>

## Nähr- und Schadstoffgrenzwerte für Kiefernadeln

**Grenzwerte für Nährstoffgehalte für Weißkiefer (*Pinus sylvestris*) und Schwarzkiefer (*Pinus nigra*)**  
(% Trockensubstanz).

Element	mangelhafte Versorgung	nicht ausreichende Versorgung	ausreichende bzw. optimale Versorgung
Stickstoff	≤ 1,30	1,31 - 1,60	> 1,60
Phosphor	≤ 0,11	0,12 - 0,13	> 0,13
Kalium	≤ 0,42	0,43 - 0,50	> 0,50
Calcium	≤ 0,05	0,06 - 0,29	> 0,29
Magnesium		≤ 0,06	> 0,06
Eisen	< 20	20 - 29	30 - 180
Mangan	< 20	20 - 49	50 - 6000
Zink	< 15	15 - 19	20 - 70
Kupfer	< 2	2 - 3	3 - 7

Burg J. van den 1985: Foliar analysis for determination of tree nutrient status - A compilation of literature data. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos - en landschapsbouw "De Dorschkamp" Wageningen Rapport nr. 414, 615S.

Burg J. van den 1990: Foliar analysis for determination of tree nutrient status - a compilation of literature data. 2. Literature 1985-1989. "De Dorschkamp", Institute for Forestry and Urban Ecology Wageningen, the Netherlands Rapport nr. 591, 220S.

Bergmann W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag Stuttgart. 614S.

Foerst K., Sautner U., Neuerburg W. 1987: Bericht zur Ernährungssituation der Wälder in Bayern und über die Anlage von Walddüngungsversuchen. Forstliche Forschungsberichte, Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, München, 79.

Gussone H. A. 1964: Faustzahlen für die Düngung im Walde. BLV Bayerischer Landwirtschaftsverlag München-Basel-Wien.

Tabelle aus: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.window?dok=6225>

## Nährstoffgrenzwerte für Fichtennadeln

### Versorgungsbereiche für Mikro- und Makro-Nährelemente in Fichtennadeln (NJ. 1; % Trockensubstanz).

Element	Mangel	nicht ausreichend	ausreichend	ECE- Beurteilungsdaten
	Gussone (1964)	Gussone (1964)	Gussone (1964)	(ECE 1986)
N (%)	< 1,31	1,31 - 1,50	> 1,50	1,35
P (%)	< 0,12	0,12 - 0,13	> 0,13	0,11
K (%)	< 0,34	0,34 - 0,42	> 0,42	0,35
Ca (%)	< 0,11	0,11 - 0,36	> 0,36	-
Mg (%)	< 0,08	0,08 - 0,11	> 0,11	0,08
S (Fichte) (%)	ca. 0,4	0,11	0,11 - 0,20	-
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	< 20		80 - 500	
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	13		15 - 25	
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	2		10 - 30	
B (mg kg <sup>-1</sup> )	10		10 - 30	

ECE 1986: Draft manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests.

Gussone H.A. 1964: Faustzahlen zur Düngung im Walde. Bayer. Landw. Verlag München, Basel, Wien.

### Versorgungsbereiche für Makro-Nährelemente in Fichtennadeln (NJ. 1; % Trockensubstanz).

Element	mangelhaft	ausreichend	optimal
N	< 1,10 – 1,30	1,30 - 1,50	> 1,50
P	< 0,11 – 0,12	0,12 - 0,15	> 0,15
K	< 0,40 – 0,45	0,45 - 0,60	> 0,60
Ca	< 0,10 – 0,20	0,20 - 0,30	> 0,30
Mg	< 0,07 – 0,08	0,08 - 0,10	> 0,10

Hüttl R. 1986: Forest fertilisation: Results from Germany, France and nordic countries. The Fertiliser Society Proceedings, 250pp.

### Versorgungsbereiche für Makro-Nährelemente in Fichtennadeln (NJ. 1; % Trockensubstanz).

Element	ausreichend
N	< 1,35 – 1,70
P	< 0,13 – 0,25
K	< 0,50 – 1,20
Ca	< 0,35 – 0,80
Mg	< 0,10 – 0,25

Bergmann W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Bergmann W. (Hrsg.) 3. erweiterte und neu gestaltete Auflage. Gustav Fischer Stuttgart, New York. 762 pp.

## Nährstoffgrenzwerte für Fichten-, Kiefern- und Tannennadeln (1)

### Versorgungsbereiche für Mikro-Nährelemente (mg kg<sup>-1</sup> TS) in Fichten- und Kiefernadeln.

Element	Mangel	nicht ausreichend	ausreichend	Über dem Optimum
<b>Fichte, NJ. 1</b>				
Fe	< 20	20 – 29,9	30 - 180	> 180
Mn	< 20	20 – 49,9	50 - 6000	> 6000
Zn	< 15	15 – 29,9	30 - 60	> 60
Cu	< 2	2 - 3	3 - 7	> 7
<b>Kiefer, NJ.1</b>				
Fe	< 20	20 – 29,9	30 - 180	> 180
Mn	< 20	20 – 49,9	50 - 6000	> 6000
Zn	< 15	15 – 19,9	20 - 70	> 70

Bergmann W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag Stuttgart. S. 614.

Foerst K., Sauter U., Neuerburg W. 1987: Bericht zur Ernährungssituation der Wälder in Bayern und über die Anlage von Walddüngungsversuchen. Forstliche Forschungsberichte München 79. S. 7.

### Versorgungsbereiche für Stickstoff in Fichten- und Tannennadeln (NJ. 1; % Trockensubstanz).

Versorgungsbereich	Fichte	Tanne
Sehr hoch	> 1,45	> 1,50
Hoch	1,25 – 1,45	1,40 – 1,50
Mittel	1,10 – 1,25	1,20 – 1,40
Gering	0,95 – 1,10	1,10 – 1,20
Sehr gering	< 0,95	< 1,10

Wild A., Schmitt V., Eis U., Strobel P., Wilksch W., Wohlfahrt S. 1996: Okulare und biochemische Schadensdiagnose bei Fichten und Weißtannen. PEF-Projekt „Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung“, FZKA-PEF 149. Forschungszentrum Karlsruhe.

## Nährstoffgrenzwerte für Fichten-, Kiefern- und Tannennadeln (2)

### Versorgungsbereiche für Makro- und Mikronährstoffe in Koniferennadeln.

$1 \mu\text{g g}^{-1} \cdot 0,0001 = \%$

$\text{mg g}^{-1} \cdot 0,1 = \%$

	Ca Fichte	Ca Tanne	Mg Fichte	Mg Tanne	K Fichte	K Tanne	Mn Fichte/Tanne
	$\text{mg g}^{-1}$	$\text{mg g}^{-1}$	$\text{mg g}^{-1}$	$\text{mg g}^{-1}$	$\text{mg g}^{-1}$	$\text{mg g}^{-1}$	$\text{mg g}^{-1}$
	3. NJ.	3. NJ.	3. NJ.	3. NJ.	3. NJ.	3. NJ.	
Sehr hoch	> 10	> 13	> 1	> 2	> 6,5	> 6,5	> 4
Hoch	7 - 10	11 - 13	0,8 - 1	1,7 - 2	5,5 - 6,5	5,5 - 6,5	2 - 4
Mittel	4 - 7	7 - 11	0,5 - 0,8	1,2 - 1,7	3,5 - 5,5	4 - 5,5	0,5 - 2
Gering	3 - 4	5 - 7	0,4 - 0,5	0,8 - 1,2	2,5 - 3,5	3 - 4	0,05 - 0,5
Sehr gering	< 3	< 5	< 0,4	< 0,8	< 2,5	< 3	< 0,05

	S Fichte	S Tanne	P Fichte	P Tanne	Fe Fichte / Tanne	Zn Fichte	Zn Tanne
	$\text{mg g}^{-1}$	$\text{mg g}^{-1}$	$\text{mg g}^{-1}$	$\text{mg g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$
			3. NJ.	3. NJ.		3. NJ.	3. NJ.
Sehr hoch	> 1,4	> 2	> 1,5	> 1,8	> 200	> 50	> 70
Hoch	1,2 - 1,4	1,8 - 2	1,3 - 1,5	1,4 - 1,8	100 - 200	30 - 50	50 - 70
Mittel	1 - 1,2	1,4 - 1,8	0,9 - 1,3	1 - 1,4	50 - 100	15 - 30	30 - 50
Gering	0,8 - 1,2	1,2 - 1,4	0,7 - 0,9	0,8 - 1	30 - 50	10 - 15	20 - 30
Sehr gering	< 0,8	< 1,2	< 0,7	< 0,8	< 30	< 10	< 20

Wild A., Schmitt V., Eis U., Strobel P., Wilksch W., Wohlfahrt S. 1996: Okulare und biochemische Schadensdiagnose bei Fichten und Weißtannen. PEF-Projekt „Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung“, FZKA-PEF 149. Forschungszentrum Karlsruhe.

## Mangelgehalte für Fichtennadeln

### Mangelgehalte (% Trockensubstanz).

Element	Sichtbare Symptome	Mangelbereich für das Wachstum	normal	Optimum
N	0,8 - 1,3	1,0 - 1,6	1,08 - 2,4	1,7 - 2,4
K	0,14 - 0,4	0,2 - 0,7	0,4 - 1,21	0,5 - 1,3
Ca	0,02 - 0,3	0,13 - 0,3	0,1 - 1,26	0,03 - 0,68
P	0,05 - 0,13			0,11 - 0,3
Mg	0,02 - 0,08	0,03 - 0,07	0,05 - 0,31	0,07 - 0,14
S			0,03	0,12 - 0,21
Zn	0,001 - 0,003			
Mn, Fe	0,0002 - 0,002			

Burg J. v.d. (1985): Foliar analysis for determination of tree nutrient status - a compilation of literature data. "de Dorschkamp" Report No. 414, Wageningen.

Cape J.N., Freer-Smith P.H., Paterson I.S., Parkinson J.A., Wolfenden J. 1990: The nutritional status of *Picea abies* (L.) Karst. Across Europe, and implications for "forest decline". *Trees* 4, 211-224.

Fiedler H.J. 1988: Zur Zinkausstattung der Fichtenwaldökosysteme in Gebieten mit „neuartigen“ Waldschäden. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 22, 61-66.

Zöttl H.W., Mies E. 1983: Nährelementversorgung und Schadstoffbelastung von Fichtenökosystemen im Südschwarzwald unter Immissionseinfluss. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.* 38, 429-434.

Landolt W., Guecheva M., Bucher J.B. 1989: The spatial distribution of different elements in and on the foliage of Norway spruce growing in Switzerland. *Environmental Pollution* 56, 155-167.

Materna J. 1989: Mineral nutrition of Norway spruce stands in the western part of Czechoslovakia. *Lesnictvi* 35, 975-982.

Liu J.C., Hüttl R.F. 1991: Relations between damage symptoms and nutritional status of Norway spruce stands (*Picea abies* Karst.) in southwestern Germany. *Fertilizer Research* 27, 9-22.

Zitiert in: Innes J.L. 1993: *Forest health: Its assessment and status*. CAB International.

## Pb- und Cd-Grenzwerte für Fichtennadeln

### Klassifizierung von Gebieten auf der Basis der Bleigehalte ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) von Fichtennadeln (Herman 1995).

Gebiete	Klasse	
Hintergrund	I	< 0,80
Ländlich	II	0,80 – 1,10
Stadtgebiete	III	1,11 – 1,80
Ballungsräume	IV	> 1,70

### Klassifizierung der Blei- und Cadmiumgehalte ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) von Fichtennadeln (Arndt et al. 1987).

Gebiete	Pb	Cd
Minimal	< 3,0	< 0,05
Normal	3,0 - 5,9	0,05 - 0,09
Leicht erhöht	6,0 - 11,9	0,10 - 0,14
Mäßig erhöht	12,0 - 20,0	0,15 - 0,20
Sehr erhöht	> 20,0	> 0,20

Arndt U., Nobel W., Schweizer B. 1987: Bioindikatoren. Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. E. Ulmer, Stuttgart.

Herman F. 1995: Nutrient content of spruce needles and content of pollutants in spruce needles and bark from the Achenkirch Investigation area. *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 85-96.

## Nähr- und Schadstoffgrenzwerte für Buchenblätter

### Grenzwerte für Nährstoffgehalte für Rotbuche (*Fagus sylvatica*; g/100g).

Element	mangelhafte Versorgung	ausreichende Versorgung	optimale Versorgung
Stickstoff	< 1,90	1,90 - 2,50	> 2,50
Phosphor	< 0,15	0,15 - 0,30	> 0,30
Kalium	< 1,00	1,00 - 1,50	> 1,50
Calcium	< 0,30	0,30 - 1,50	> 1,50
Magnesium	< 0,15	0,15 - 0,30	> 0,30
Mangan	< 35	35 - 150	> 150
Zink	< 15	15 - 50	> 50
Kupfer	< 5	5 - 12	> 12

Burg J. van den 1985: Foliar analysis for determination of tree nutrient status - A compilation of literature data. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos - en landschapsbouw "De Dorschkamp" Wageningen Rapport nr. 414, 615S.

Burg J. van den 1990: Foliar analysis for determination of tree nutrient status - a compilation of literature data. 2. Literature 1985-1989. "De Dorschkamp", Institute for Forestry and Urban Ecology Wageningen, the Netherlands Rapport nr. 591, 220S.

Bergmann W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag Stuttgart. 614S.

Tabelle aus: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.window?dok=6225>

### Beurteilungswerte, Untergrenzen in Buchenblättern (% Trockensubstanz).

Element	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
N		< 2,0	2,0 - 2,2	2,2 - 2,5	> 2,5
P	< 0,10	0,10 - 0,13	0,13 - 0,15	0,15 - 0,17	> 0,17
K	< 0,50	0,50 - 0,55	0,55 - 0,65	0,65 - 0,75	> 0,75
Ca	< 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,70	0,70 - 0,85	> 0,85
Mg	< 0,07	0,07 - 0,08	0,08 - 0,10	0,10 - 0,14	> 0,14

Wolff B., Riek W., Baritz R., Henning P. 1997: Deutscher Waldbodenbericht 1996. Bd. 1 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.

Zitiert in: Pampe A., Meiwes K.J., Petersen R. 2004: Effekte plätzeweiser Kalkeinarbeitung auf Sprosswachstum, Wurzelausbreitung und Ernährungszustand gepflanzter Buchen. Forstarchiv 75, 131 - 142.

## Pb- und Cd-Grenzwerte für Fichtenborken

### Klassifizierung des Blei- und Cadmumeintrages aufgrund der Gehalte in Fichtenborken (Herman 1995).

Klasse	mg Blei kg <sup>-1</sup>	mg Cadmium kg <sup>-1</sup>	Schadstoffeintrag
1 (schwach belastet)	0,1 - 8,0	0,05 - 0,60	kein Hinweis
2 (mittel belastet)	8,1 - 32,0	0,61 - 0,80	möglich
3 (stark belastet)	> 32,0	> 0,81	vorhanden

Herman F. 1995: Nutrient content of spruce needles and content of pollutants in spruce needles and bark from the Achenkirch Investigation area. *Phyton* (Horn, Austria) 34 (3), 85-96.

## Nährstoffgrenzwerte (Klassen, UN - ECE)

### Klassifizierung der Stickstoffgehalte in Europa.

Die Beurteilung der N - Gehalte der Blattorgane erfolgt, abweichend von den oben dargestellten Grenzwerten, in drei Klassen, die aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen in den einzelnen Ländern nicht näher benannt werden.

Baumart	Klasse	N - Gehalt % Trockensubstanz
Fichte, Kiefer	1	< 1,2
	2	bis 1,7
	3	> 1,7
Buche	1	< 1,8
	2	bis 2,5
	3	> 2,5

UN - ECE 1997: Forest Foliar Condition in Europe. Results of large scale foliar chemistry surveys (survey 1995 and data from previous years). ISBN 3 - 901347 - 05 - 4.

### Klassifikation von Blattspiegelwerten (% Trockensubstanz).

	Fichte ( <i>Picea abies</i> )			Kiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> )			Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> )			Eiche ( <i>Quercus sp.</i> )		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	nieder	mittel	hoch	nieder	mittel	hoch	nieder	mittel	hoch	nieder	mittel	hoch
	≤	bis	>	≤	bis	>	≤	bis	>	≤	bis	>
N	1,20	1,70	1,70	1,20	1,70	1,70	1,80	2,50	2,50	1,80	2,50	2,50
P	0,10	0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	0,17	0,17	0,10	0,18	0,18
K	0,35	0,90	0,90	0,35	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00
Ca	0,15	0,60	0,60	0,15	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	0,30	0,80	0,80
Mg	0,06	0,15	0,15	0,06	0,15	0,15	0,10	0,15	0,15	0,10	0,25	0,25
S	0,11	0,18	0,18	0,11	0,18	0,18	0,13	0,20	0,20	0,13	0,20	0,20

UN - ECE 1997: Forest Foliar Condition in Europe. Results of large scale foliar chemistry surveys (survey 1995 and data from previous years). ISBN 3 - 901347 - 05 - 4.

Stefan K., Fürst A., Hacker R., Bartels U. 1997: Forest Foliar Condition in Europe. EC - UN/ECE - FBVA. Brussels, Geneva, Vienna. 207

pp.

## Nährstoffquotienten (Fichtennadeln)

### Günstige Nährstoffquotienten (Fichtennadeln).

Quotient	Hüttl (1985) "günstig" Fiedler & Thakur (1984)	Ingestad (1987) "normal"
N/P	7,01 - 10,00	6,25
N/K	1,01 - 3,00	2,0
N/Ca	2,01 - 7,00	20,0
N/Mg	8,01 - 14,00	20,0
S/N	0,057 – 0,075	

### Günstige Nährstoffquotienten (Fichtennadeln).

Quotient	Hüttl (1986)	Hüttl (1986)	Gussone (1964)	Gussone (1964)	EC-UN/ECE (1997) Stefan et al. (1997)
	von - bis	optimal	von - bis	optimal	von - bis
N/P	6,7 – 12,5	10	10,1 – 12,5	11,5	6 – 17
N/K	2,16 – 3,3	2,5	3,1 – 4,4	3,6	1,33 – 4,86
N/Mg	13 – 15,5	15	11,9 – 18,75	13,6	8 – 28,33
P/K	0,2 – 0,33	0,25	0,29 – 0,38	0,31	0,11 – 0,57

EC-UN-ECE 1997: Forest Foliar Condition in Europe. Results of large scale foliar chemistry surveys (survey 1995 and data from previous years). ISBN 3-901347-05-4.

Fiedler H.J., Thakur S. 1984: Zur Schwefelernährung der Waldbäume und blattanalytischen Bewertung ihres Ernährungszustandes. Beiträge für die Forstwirtschaft (Berlin), 18 (2), 81-86.

Hüttl R. 1985: Neuartige Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen in Südwestdeutschland. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Heft 16.

Hüttl R. 1986: Forest fertilisation. Results from Germany, France and the nordic countries. The Fertiliser Society Proceedings, 250pp.

Ingestad 1987: New concepts on soil fertility and plant nutrition as illustrated by research on forest trees and stands. Geoderma 40, 237-252.

Stefan K., Fürst A., Hacker R., Bartels U. (1997): Forest Foliar Condition in Europe. EC-UN/ECE-FBVA. Brussels, Geneva, Vienna. 207pp.

## Mikronährstoffgehalte in Pflanzen

Elementkonzentrationen Pflanzen (mg kg<sup>-1</sup> Trockengewicht).

Element	
As	0,1 - 1
Be	0,1
Pb	0,1 - 5
B	30 - 75
Br	15
Cd	0,05 - 0,2
Cr	0,2 - 1
Fe	20 - 300
F	2 - 20
Co	0,3 - 0,5
Cu	2 - 12
Mn	10 - 100
Mo	0,3 - 5
Ni	0,4 - 3
Hg	0,005 - 0,01
Se	0,02 - 2
V	0,1 - 10
Zn	15 - 100
Sn	0,8 - 6

El-Bassam N. 1978: Spurenelemente: Nährstoffe und Gift zugleich.  
Kali-Briefe (Büntehof) 14, 255-272.

## Mikroelementgehalte in Baumkompartimenten

### Mikroelementkonzentrationen in verschiedenen Baumkompartimenten.

Element	Fichten-nadeln	Fichten-zweige	Eichen-rinde	Buchen-rinde	Fichten-rinde	Kiefern-rinde	Derbholz (Rahmenwerte)
	Steubing & Haneke 1993	Steubing & Haneke 1993	Jacobsen et al. 2003	Jacobsen et al. 2003	Jacobsen et al. 2003	Jacobsen et al. 2003	De Vries & Bakker 1998
	mg kg <sup>-1</sup> Aschegewicht	mg kg <sup>-1</sup> Aschegewicht	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
As	0,115	0,540					
Au	0,000350	0,250					
Ba	114	185					
Br	1,6	4,5					
Ca	15.000	11.000					
Cd	< 0,200	0,460	0,13	0,15	0,36	1,31	0,1 - 0,5
Ce	0,400	1,7					
Co	0,360	1					
Cr	1,1	408	0,7	0,5	0,4	0,4	0,2 - 1
Cs	0,035	0,130					
Cu			2,2	1,8	1,7	1,4	1 - 10
Eu	0,011	0,024					
Fe	180	774					
Hg	< 0,023	< 0,035					
K	12.000	11.000					
Na	31	166					
Ni			1,6	1,3	1,2	1,8	0,2 - 2
Pb			3,0	1,5	1,3	1,8	1 - 10
Rb	4,5	7,2					
Sb	0,110	0,280					
Sc	46	190					
Sr	0,090	93					
Ta	< 0,010	0,047					
Th	0,040	0,110					
U	0,044	0,065					
W	0,045	0,185					
Zn	69	190	5,3	11	31	25	5 - 40
Zr	< 0,003	< 10					

Jacobsen C., Rademacher P., Meesenburg H., Meiwes K.J. 2003: Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Univ. Göttingen, Reihe B, Bd. 69.

Steubing L., Haneke J. 1993: Higher plants as indicators of uranium occurrence in soil. In: Markert B. (ed., 1993): Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment, 155 - 165.

De Vries W., Bakker D.J. 1998: Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystems. Guidelines for critical limits, calculation methods and input data. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, Report 166, 136pp.

## Mikronährstoffgehalte in Fichtennadeln und - zweigen

Spurenelementkonzentrationen (mg kg<sup>-1</sup> Aschegewicht) in Nadeln und Zweigen von *Picea abies*.

Element	Nadeln	Zweige
As	0,115	0,540
Au	0,000350	0,250
Ba	114	185
Br	1,6	4,5
Ca	15.000	11.000
Ce	0,400	1,7
Cd	< 0,200	0,460
Cr	1,1	408
Cs	0,035	0,130
Co	0,360	1
Eu	0,011	0,024
Fe	180	774
Hg	< 0,023	< 0,035
K	12.000	11.000
Na	31	166
Rb	4,5	7,2
Sb	0,110	0,280
Sc	46	190
Sr	0,090	93
Ta	< 0,010	0,047
Th	0,040	0,110
U	0,044	0,065
W	0,045	0,185
Zn	69	190
Zr	< 0,003	< 10

Steubing L., Haneke J. 1993: Higher plants as indicators of uranium occurrence in soil. In: Markert B. (ed., 1993): Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment, 155 - 165.

## Kohlenstoffgehalte von Hölzern

Holzart / Kompartiment	%C in der Trockenmasse
Fichte	50,1
Tanne	51,1
Lärche	52,1
Rotbuche	48,6
Eiche	49,5
Robinie	49,2
<i>Sorbus, Prunus</i>	49,7
Birke	48,5
Rinde	45,0
Blätter, Nadeln	41,5

Kollmann F. 1982: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 1. Bd., 2. Aufl., Springer Berlin.

Halbwachs G., Arzl N., Grabner M., Wimmer R. 1993: Kohlenstoffflüsse in der österreichischen Forst- und Holzwirtschaft II. Akademie für Umwelt und Energie, Laxenburg. Reihe Forschung, Bd. 3, 51-98.

Körner C., Schilcher R., Pelaez-Riedl S. 1993: Vegetation und Treibhausproblematik. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Kommission Reinhaltung der Luft 1992: Bestandsaufnahme Anthropogene Klimaänderungen: Mögliche Auswirkungen auf Österreich - Mögliche Maßnahmen in Österreich. BM für Wissenschaft und Forschung / MB für Umwelt, Jugend und Familie. Wien.

Zitiert in: Weiss P., Schieler K., Schadauer K., Radunsky K., Englisch M. 2000: Die Kohlenstoffbilanz des österreichischen Waldes und Betrachtungen zum Kyoto-Protokoll 2000. Umweltbundesamt. Monographien, Band 106.

## Elementgehalte in Gefäßpflanzen und Fichtennadeln

### Richtwerte für Gehalte (% in der Trockensubstanz) von essentiellen Elementen und anderen Metallen bei Gefäßpflanzen und Fichtennadeln.

Grau unterlegt: Mikronährstoffe (Fe und Cl nehmen eine Mittelstellung ein).

Element	Gefäßpflanzen	Fichtennadeln
O	45	
H	45	
C	6	
N	1,5	
K	1,0	0,4
Ca	0,5	0,4
S	0,2	
P	0,1	
Mg	0,1	0,1
Fe, Cl	0,01	
Mn	0,005	
B	0,002	
Zn	0,002	0,002
Cu		0,001
Co	0,0006	
Mo	0,00001	
Pb (nicht essentiell)		bis > 0,003
Cd (nicht essentiell)		bis > 0,00008

Raven P.H., Evert R.F., Eichhorn S.E. 2000: Biologie der Pflanzen, 3. Auflage.  
De Gruyter Berlin, New York.

## Elementgehalte in Fichten und Buchenkompartimenten

### Nährstoffgehalte in verschiedenen Kompartimenten von Fichten und Buchen (Mittelwerte, mg g<sup>-1</sup>).

Baumart / Kompartiment	N	P	K	Ca	Mg
Fichte - Derbholz	0,83	0,06	0,46	0,70	0,11
Fichte - Derbrinde	5,17	0,65	2,83	8,17	0,77
Fichte - Nadeln	13,36	1,33	5,70	6,03	0,79
Fichte - Reisig und Äste	5,24	0,65	2,39	3,33	0,53
Fichte - Grobwurzeln	4,14	0,37	1,38	1,59	0,30
Fichte - Feinwurzeln	10,77	0,98	2,18	2,61	0,55
Buche - Derbholz	1,21	0,10	0,93	0,95	0,25
Buche - Derbrinde	7,35	0,50	2,34	20,52	0,59
Buche - Blätter	26,01	1,46	8,66	8,88	1,25
Buche - Reisig und Äste	4,27	0,48	1,50	4,02	0,36
Buche - Grobwurzeln	3,03	0,35	1,34	2,69	0,43
Buche - Feinwurzeln	7,15	0,60	2,18	5,29	0,74

Jacobsen C., Rademacher P., Meesenburg H., Meiwes K.J. 2003: Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Univ. Göttingen, Reihe B, Bd. 69.

### Schwefelgehalte verschiedener Hölzer.

Frischer Fichtenstamm	Schwefelgehalt % atro (= absolut trocken) Probe
Frischer Fichtenstamm	0,005
Buchen- und Fichtenschnittholz	0,01 - 0,02
Buchen-, Eichen-, Douglasien- und Pappelholz	0,01 - 0,03
Fichten-, Kiefern-, Buchenrinde	0,05 - 0,10
Kiefern-Hackschnitzel, Unterdachlagerung	0,006
Kiefern-Hackschnitzel, Freiluftlagerung	0,021
Industriespäne vor Trocknung	0,005 - 0,012
Industriespäne nach Trocknung mit Schwerölbrenner (Öl ca. 2 % S)	0,057 - 0,036

Parameswaran N., Ellmer K., Böttcher P. 1984: Mikrorstechnologie der Anstrich-Systeme für Holz. Holz als Roh- und Werkstoff. Springer.

<http://www.springerlink.com/content/m5n723184ql7k211/fulltext.pdf?page=1>

Emissionsfaktoren: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/DP101.pdf>

## Biochemische Parameter

### Pflanzenphysiologische Parameter (Fichtennadeln und -feinwurzeln).

Parameters	Bereiche	Literatur	
Photosynthetische Kapazität F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> (Verhältnis variabler zu maximaler Fluoreszenz)	0,85 0,72 < 0,60 < 0,30	normal Untergrenze der natürlichen Variation starke, reversible Störungen starke, auch strukturelle Störungen	Bolhar - Nordenkampf und Lechner, 1989; Bolhar - Nordenkampf and Götzl, 1992
Thiole Ascorbinsäure Peroxidase - Aktivität Glutathionreductase Gesamt - Chlorophyll	0,25 - 0,70 - 3,9 5 - 50 0,6 - 1,5 60 - 1500	µmol/g Trockensubstanz (Nadeljahrgang 1) mg/g Trockensubstanz (Nadeljahrgang 1) units/g Trockensubstanz (Nadeljahrgang 1) units/g Trockensubstanz (Nadeljahrgang 1) µg/g Trockensubstanz (Nadeljahrgang 1)	Bermadinger - Stabentheiner, 1994
Glutathion-S-transferase	0,1 - 1,0	nkat/mg Protein	Plümacher und Schröder, 1994
Gesamtfettsäuren Ungesätt. Fettsäuren Linolsäure Ölsäure Sterole Triglyceride	< 0,6 - > 0,8 < 50 - > 60 < 25 - > 30 < 8 / > 8 < 0,25 - > 0,35 < 0,15 - > 0,25	% Trockensubstanz (total) rel. % der Gesamtfettsäuren rel. % der Gesamtfettsäuren rel. % der Gesamtfettsäuren % Trockensubstanz (total) % Trockensubstanz (total)	Puchinger and Stachelberger, 1994
Feinwurzeln; cytogenetische Bioindikation der Chromosomen- aberrationen	Cytogenetischer Standortsindex (CSI) > 1,4		Müller und Bermadinger - Stabentheiner, 1996

Bermadinger - Stabentheiner E. 1994: Stress - physiological investigations on spruce trees from the "Achenkirch Altitude Profiles". *Phyton (Austria)* 34, 97 - 112.

Bolhar - Nordenkampf H.R., Lechner E.G. 1989: Saisonale und streßbedingte Modifikationen der photosynthetischen Kapazität von Fichten im Höhenprofil „Zillertal“. *B. Lichtabhängige CO<sub>2</sub> - Fixierung. Phytion (Austria)* 29 (3), 207 - 228.

Bolhar - Nordenkampf H., Götzl M. 1992: Chlorophyllfluoreszenz als Indikator der mit der Höhenlage zunehmenden Stressbelastung von Fichtennadeln. *FBVA - Berichte (Wien)* 67, 119 - 132.

Müller M., Bermadinger - Stabentheiner E. 1996: Investigations of chromosomal aberrations in the root tip meristems of spruce trees from the "Achenkirch Altitude Profile". *Phyton (Austria)* 36 (4), 163 - 176.

Plümacher J., Schröder P. 1994: Accumulation of C<sub>1</sub> - /C<sub>2</sub> - chlorocarbons and TCA and a possible correlation with GST in conifer needles. *Phyton (Austria)* 34, 141 - 154.

Puchinger L., Stachelberger H. 1994: Determination of lipids in spruce needles as stress indicators in the "Achenkirch Altitude Profiles". *Phyton (Austria)* 34, 113 - 126.

## Biochemische Schadindices, biochemische Parameter (1)

### Biochemische Schadindices (Fichten, vorjährige Nadeln).

FG: Frischgewicht, TS: Trockensubstanz.

Parameter	Einheit	Normbereich	Schwellenwert 1	Schwellenwert 2
Chlorophyll	mg g <sup>-1</sup> TS	> 2,5	≤ 2,5	≥ 2,0
Ascorbat	mg g <sup>-1</sup> TS	< 4,0	≥ 4,0	≥ 5,0
α-Tocopherol	µg mg <sup>-1</sup> Chlorophyll	< 150	≥ 150	≥ 200
Putrescin	nmol g <sup>-1</sup> TS	< 500	≥ 500	≥ 1000
Catechin	µmol g <sup>-1</sup> TS	< 40	≥ 40	≥ 60
PEPC - Aktivität	µmol g <sup>-1</sup> TS h <sup>-1</sup>	< 30	≥ 30	≥ 60
Osmolalität des Nadelpresssaftes	osmol kg <sup>-1</sup>	< 0,80	≥ 0,80	≥ 0,98
Prolin	µmol g <sup>-1</sup> TS	< 0,25	≥ 0,25	≥ 0,50
ACC	nmol g <sup>-1</sup> FG	< 0,24	≥ 0,24	≥ 0,75
MACC	nmol g <sup>-1</sup> FG	< 10	≥ 10	≥ 20

Parameter (Fichten)	Einheit	ungeschädigt	Akkumulation	geschädigt
PEPC - Aktivität	µmol g <sup>-1</sup> TS h <sup>-1</sup>	30		60 - 80
Prolin	µmol g <sup>-1</sup> TS	< 0,5	> 0,5	5 - 15

Wild A., Schmitt V., Eis U., Strobel P., Wilksch W., Wohlfahrt S. 1996: Okulare und biochemische Schadensdiagnose bei Fichten und Weisstannen. PEF - Projekt „Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung“, FZKA - PEF 149. Forschungszentrum Karlsruhe.

### Bandbreiten verschiedener biochemischer Parameter in Fichtennadeln (Tirol; 1- und 2- jährige Nadeln). Die Relativwerte beziehen sich auf die Summe beider Nadeljahrgänge.

Parameter	Dimension	Untergrenze	Obergrenze
Chlorophyll (gesamt)	mg g <sup>-1</sup> TS	0,6	2,2
Ascorbat	mg g <sup>-1</sup> TS	1,0	5,5
Peroxidase	Units g <sup>-1</sup> TS	5	55
Glutathionreduktase	Units g <sup>-1</sup> TS	0,5	2,8
Wasserlösliche Thiole	µmol g <sup>-1</sup> TS	0,1	0,7
Gesamtcarotin	mg g <sup>-1</sup> TS	0,075	0,14
Gesamt-xanthophyll	mg g <sup>-1</sup> TS	0,19	0,31
α/β- Carotin	-	0,4	1,2

Herman F., Smidt S. 1994: Results from the fields of integrated monitoring, bioindicators and indicator values for the characterization of the physiological condition of trees. Phytos (Horn, Austria) 34 (3), 169 - 192.

## Biochemische Schadindices, biochemische Parameter (2)

### Vitalitätsbereiche (Übergangs- und Warnbereiche) der ausgewählten Biomarker (Fichte).

Biomarker	Einheit	Referenzbereich	Übergangsbereich	Warnbereich
<b>Indexzahlen</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
100-Nadel trockenmasse	g	> 0,32	> 0,32 - 0,26	< 0,26
Nadelwassergehalt	%	> 56,2	> 56,2 - 55,3	< 55,3
Gesamtchlorophyll	mg g <sup>-1</sup> TS	> 3,09	> 3,09 - 2,86	< 2,86
Kohlenhydrate	µmol Glycosyleinheiten g <sup>-1</sup> TS	> 614	> 614 - 574	< 574
Gesamtphenole	µmol g <sup>-1</sup> TS	< 359	< 359 - 396	> 396
Gesamtascorbat	mg g <sup>-1</sup> TS	< 3,11	< 3,11 - 3,45	> 3,45
Cape-Index		< 0,37	< 0,37 - 0,50	> 0,50

(BVI) Index zur einfachen Einschätzung der Vitalität von Fichten. Dazu erfolgte die Festlegung einer Indexzahl für jeden Biomarker (100-Nadel trockenmasse, Nadelwassergehalt, Gesamtchlorophyll, Kohlenhydrate, Gesamtphenole, Cape-Index) getrennt für die einzelnen Nadeljahrgänge. Die Indexzahl kann die Werte 1, 2 oder 3 annehmen (siehe Tabelle); sie beruht auf der Abweichung vom Referenzbereich. Der BVI berechnet sich als Mittelwert aus allen Indexzahlen.

$$\text{BVI} = (\text{Summe der Indexzahlen aller Biomarker}) / \text{Anzahl der Biomarker}$$

Landmesser H., Hahn R., Ringel C. 2004: Ergebnisse des BMVEL-Projektes zu Biomarker-Untersuchungen auf zwei ökologischen Messflächen in Sachsen (Teilprojekt Fichte). In: Einsatz von Biomarkern für das forstliche Monitoring. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt, Beiheft 5, 148-159.

## Biochemische Schadindices, biochemische Parameter (3)

### Vitalitätsbereiche (Übergangs- und Warnbereiche) der ausgewählten Biomarker (Kiefer).

TS: Trockensubstanz.

Bioindikator	Einheit	Referenzbereich	Übergangsbereich	Warnbereich
Indexzahlen		1	2	3
100-Nadel trockenmasse	g	> 1,65	> 1,65 - 1,21	< 1,21
Nadelwassergehalt	%	> 53,8	> 53,8 - 52,7	< 52,7
Gesamtchlorophyll	mg g <sup>-1</sup> TS	> 2,66	> 2,66 - 2,46	< 2,46
Lösliche Aminosäuren	µmol g <sup>-1</sup> TS	< 122	< 122 - 136	> 136
Prolin	µmol g <sup>-1</sup> TS	< 1,02	< 1,02 - 1,15	> 1,15
Lösliche Kohlenhydrate	µmol Glycosyleinheiten g <sup>-1</sup> TS	> 490	> 490 - 456	< 456
Stärke	µmol Glycosyleinheiten g <sup>-1</sup> TS	> 24,1	> 24,1 - 11,3	< 11,3
Gesamtascorbat	mg g <sup>-1</sup> TS	< 3,13	< 3,13 - 3,51	> 3,51

(BVI) Index zur einfachen Einschätzung der Vitalität von Kiefern. Dazu erfolgte die Festlegung einer Indexzahl für jeden Biomarker (100-Nadel trockenmasse, Nadelwassergehalt, Gesamtchlorophyll, lösliche Aminosäuren, Prolin, lösliche Kohlenhydrate, Stärke, Gesamtascorbat) getrennt für die einzelnen Nadeljahrgänge. Die Indexzahl kann die Werte 1, 2 oder 3 annehmen, siehe Tabelle); sie beruht auf der Abweichung vom Referenzbereich. Der BVI berechnet sich als Mittelwert aus allen Indexzahlen.

$$\text{BVI} = (\text{Summe der Indexzahlen aller Biomarker}) / \text{Anzahl der Biomarker}$$

Löffler S. 2004: Ausgewählte Ergebnisse des BMVEL-Projektes zu Biomarkerreaktionen in Abhängigkeit von Witterungsfaktoren auf drei Intensivmessflächen im Land Brandenburg (Teilprojekt Kiefer). In: Einsatz von Biomarkern für das forstliche Monitoring. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt, Beiheft 5, 131-147.

## Beurteilung der Stomatawachse (Fichtennadeln)

### Qualitätsklassen für die Beurteilung der Stomatawachse.

Klasse	Beurteilung der Stomatawachse
1	Bis 10 % der Stomatafläche weisen eine beginnende apikale Verschmelzung einzelner Wachsfilamente auf
2	> 10 - 25 % der Stomatafläche weisen verschmolzene Wachsstrukturen auf
3	25 - 50 % des Stomatawachses sind verschmolzen
4	51 - 75 % der Stomatafläche weisen plattenartig verschmolzene Wachsstrukturen auf
5	76 - 100 % der Stomatafläche weisen verschmolzene Wachsstrukturen auf, d.h., die Spaltöffnungen sind fast zur Gänze von einer amorphen Wachskruste überzogen

Trimbacher C., Eckmüllner O., Weiss P: 1995: Die Wachsqualität von Fichtennadeln österreichischer Hintergrundstandorte. Umweltbundesamt, Monographien Bd. 57.

### Wax structures on the needles of Norway spruce.

Category	Condition of wax
1	Undamaged crystalline structure consisting of a dense array of fine wax crystalloids, up to 2.5 µm long and 200 nm diameter
2	Semi-crystalline structure, but wax crystalloids beginning to fuse, tubes 200 - 700 nm diameter
3	Increased fusion of wax tubes, giving the wax a melted appearance, approximately half of the epistomatal chamber occluded by structurally degraded wax, rodlets 700 - 1200 nm diameter
4	Almost total agglomeration of the wax crystalloids retaining very little structural integrity, epistomatal chamber filled with degraded wax, tubes of indeterminate diameter
5	Total occlusion of the epistomatal chamber by a flat plate of completely degraded wax, with no structure and forming an amorphous layer

Barnes J.D., Davison A.W., Booth T.A. 1988: Premature degradation of epicuticular wax on *Picea abies* needles induced by ozone. In: Cape J.N., Mathy P. (eds.), Scientific basis for forest decline symptomatology. Air Pollution Rept. 15. Brussels: Commission of the European Communities, pp. 245.251.

Zitiert in: Innes J.L. 1993: Forest health: Its assessment and status. CAB International.

## Schwermetallgrenzwerte (Pflanzen)

**Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen (mg kg<sup>-1</sup>).**

Element	Gehalte in Pflanzen (1)	Kritische Konz. in Pflanzen (2)	Kritische Konz. in Pflanzen (3)
Ag	0,1 – 0,8		1 - 4
As	0,02 - 7	5 - 20	1 - 20
Au	0,0017	-	< 1
Cd	0,1 – 2,4	5 - 30	4 - 200
Co	0,02 - 1	15 - 50	4 - 40
Cr	0,03 - 14	5 - 30	2 - 18
Cu	5 - 20	20 - 100	5 - 64
Hg	0,005 – 0,17	1 - 3	1 - 8
Mn	20 - 1000	300 - 500	100 - 7000
Mo	0,03 - 5	10 - 50	-
Ni	0,02 - 5	10 - 100	8 - 220
Pb	0,2 - 20	30 - 300	-
Sb	0,0001 – 0,2	-	1 - 2
Se	0,001 - 2	5 - 30	3 - 40
Sn	0,2 – 6,8	60	63
Tl	0,03 - 3	20	-
U	0,005 – 0,06	-	-
V	0,001 – 1,5	5 - 10	1 - 13
W	0,005 – 0,155	-	-
Zn	1 - 400	100 - 400	100 - 900

(1) Daten hauptsächlich aus: Bowen H.J.M. 1979: Environmental Chemistry of the elements. Academic Press, London.

Zitiert in Alloway:

(2) Kabata-Pendias A., Pendias H. 1992: Trace elements in soils and plants. 2. Auflage. CRC Press, Boca Raton/FL.

(3) Werte, die wahrscheinlich zu einer Ertragsminderung um 10% führen. Aus: McNichol R.D., Beckett P.H.T. 1985: Plant and Soil 85, 107-129.

Zitiert in: Alloway B.J.; Reimer T. 1999: Schwermetalle in Böden: Analytik, Konzentration, Wechselwirkungen. - Berlin : Springer-Verlag ISBN 3-540-62086-9.

## Schwermetallgrenzwerte (Klärschlämme, Komposte) (1)

Zulässige Grenzwerte für einige Schwermetalle (mg Metall kg<sup>-1</sup> TG)  
in Klärschlämmen und Böden nach der deutschen Klärschlammverordnung.

Metall	Klärschlamm	Boden
Zn	3000	300
Cr	1200	100
Pb	1200	100
Cu	1200	100
Ni	200	50
Cd	30	3
Hg	25	2

Hock B., Elstner E.F. 1995: Schadwirkungen auf Pflanzen.  
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

Schwermetallgehalte in Müll- und Müllkomposten  
(mg Metall kg<sup>-1</sup> TS).

Element	
Zn	300 – 12.000
Pb	20 – 6.000
Cu	50 – 5.000
Ni	10 – 500
Cd	1 - 40

Cramer H.H., Kloke A., Jarczyk H.J. & Kick H. 1981:  
Bodenkontamination. In : Ullmanns Enzyklopädie der  
Technischen Chemie, 4. Auflage, Bd. 6, 501-516.  
Verlag Chemie, Weinheim.

## Schwermetallgrenzwerte (Klärschlämme, Komposte) (2)

Bestimmungen der Amerikanischen Umweltschutzbehörde (EPA) für auf Böden ausgebrachte Klärschlämme (Teil 503).

	Zulässiger Höchstwert im Schlamm	Zulässiger Höchstwert in „sauberem“ Schlamm	Maximale jährliche Höchstbelastung	Maximale kumulative Höchstbelastung
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
As	75	41	2,0	41
Cd	85	39	1,9	39
Cr	3000	1200	150	3000
Cu	4300	1500	75	1500
Pb	840	300	15	300
Hg	57	17	0,85	17
Mo	75	18	0,90	18
Ni	420	420	21	420
Se	100	36	5,0	100
Zn	7500	2800	140	2800

US Environmental Protection Agency 1993: Standards for the use of disposal

Zitiert in: Alloway B.J.; Reimer T. 1999: Schwermetalle in Böden: Analytik, Konzentration, Wechselwirkungen. - Berlin: Springer-Verlag ISBN 3-540-62086-9.

#### **(4) UMWELTSCHUTZGESETZE (Deutschland, Schweiz)**



# Umweltgesetze (Deutschland) - Überblick

## Sachgebiete

### Allgemeiner Umweltschutz

([http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php))

### Abfallwirtschaft

([http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php#abfall](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php#abfall))

### Chemikalienrecht

([http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php#chemie](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php#chemie))

### Erneuerbare Energien / Klimaschutz

([http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php#klima](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php#klima))

### Gewässerschutz

([http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php#gewaesser](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php#gewaesser))

### Immissionsschutz

[http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php#immission](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php#immission)

### Kerntechnische Sicherheit und Strahlenschutz

([http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php#strahlen](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php#strahlen))

### Naturschutz und Landschaftspflege

([http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php#natur](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php#natur))

### Sonstiges

([http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php#sonstiges](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php#sonstiges))

### Weitere Links

<http://www.gesetze-im-internet.de/>

[http://www.bmu.de/gesetze\\_verordnungen/alle\\_gesetze\\_verordnungen\\_bmu/doc/35501.php#allgemein](http://www.bmu.de/gesetze_verordnungen/alle_gesetze_verordnungen_bmu/doc/35501.php#allgemein)

Bundesimmissionsschutzgesetz: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bundes-Immissionsschutzgesetz>

<http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bimschg/gesamt.pdf>

# Bundesimmissionsschutzgesetz (Deutschland) (1)

Ursprüngliche Fassung vom 15.3.1974 (BGBl. I S. 721, 1193), letzte Neufassung: 26.9.2002 (BGBl. I S. 3830); letzte Änderung durch Art. 1 G vom 23.10.2007 (BGBl. I S. 2470), Inkrafttreten der letzten Änderung 30.10.2007 (Art. 7 G vom 23.10.2007)

(BimSchG) Bundes-Immissionsschutzgesetz ist die Kurzbezeichnung für das deutsche Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnlichen Vorgängen. Es regelt im Gebiet des Umweltrechts und ist das bedeutende praxisrelevanteste Regelwerke dieses Rechtsgebietes, solange es kein einheitliches deutsches Umweltgesetzbuch gibt.

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge.

## Inhaltsübersicht

### Erster Teil: Allgemeine Vorschriften

- § 1 Zweck des Gesetzes
- § 2 Geltungsbereich
- § 3 Begriffsbestimmungen

### Zweiter Teil: Errichtung und Betrieb von Anlagen

#### **Erster Abschnitt:** Genehmigungsbedürftige Anlagen

- § 4 Genehmigung
- § 5 Pflichten der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen
- § 6 Genehmigungsvoraussetzungen
- § 7 Rechtsverordnungen über Anforderungen an genehmigungsbedürftige Anlagen
- § 8 Teilgenehmigung
- § 8a Zulassung vorzeitigen Beginns
- § 9 Vorbescheid
- § 10 Genehmigungsverfahren
- § 10a
- § 11 Einwendungen Dritter bei Teilgenehmigung und Vorbescheid
- § 12 Nebenbestimmungen zur Genehmigung
- § 13 Genehmigung und andere behördliche Entscheidungen
- § 14 Ausschluss von privatrechtlichen Abwehransprüchen
- § 14a Vereinfachte Klageerhebung
- § 15 Änderung genehmigungsbedürftiger Anlagen
- § 15a
- § 16 Wesentliche Änderung genehmigungsbedürftiger Anlagen
- § 17 Nachträgliche Anordnungen
- § 18 Erlöschen der Genehmigung
- § 19 Vereinfachtes Verfahren
- § 20 Untersagung, Stilllegung und Beseitigung
- § 21 Widerruf der Genehmigung

#### **Zweiter Abschnitt:** Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen

- § 22 Pflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen
- § 23 Anforderungen an die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen
- § 24 Anordnungen im Einzelfall
- § 25 Untersagung

## Bundesimmissionsschutzgesetz (Deutschland) (2)

### **Dritter Abschnitt:** Ermittlung von Emissionen und Immissionen, sicherheitstechnische Prüfungen

- § 26 Messungen aus besonderem Anlass
- § 27 Emissionserklärung
- § 28 Erstmalige und wiederkehrende Messungen bei genehmigungsbedürftigen Anlagen
- § 29 Kontinuierliche Messungen
- § 29a Anordnung sicherheitstechnischer Prüfungen
- § 30 Kosten der Messungen und sicherheitstechnischen Prüfungen
- § 31 Auskunft über ermittelte Emissionen und Immissionen
- § 31a

### **Dritter Teil:** Beschaffenheit von Anlagen, Stoffen, Erzeugnissen, Brennstoffen, Treibstoffen und Schmierstoffen; Biokraftstoffe

#### **Erster Abschnitt:** Beschaffenheit von Anlagen, Stoffen, Erzeugnissen, Brennstoffen, Treibstoffen und Schmierstoffen

- § 32 Beschaffenheit von Anlagen
- § 33 Bauartzulassung
- § 34 Beschaffenheit von Brennstoffen, Treibstoffen und Schmierstoffen
- § 35 Beschaffenheit von Stoffen und Erzeugnissen
- § 36 Ausfuhr
- § 37 Erfüllung von zwischenstaatlichen Vereinbarungen und Beschlüssen der Europäischen Gemeinschaften

#### **Zweiter Abschnitt:** Biokraftstoffe

- § 37a Mindestanteil von Biokraftstoff an der Gesamtmenge in Verkehr gebrachten Kraftstoffs
- § 37b Begriffsbestimmung, Anforderungen an Biokraftstoffe
- § 37c Mitteilungs- und Abgabepflichten
- § 37d Zuständige Stelle, Rechtsverordnungen

### **Vierter Teil:** Beschaffenheit und Betrieb von Fahrzeugen, Bau und Änderung von Straßen und Schienenwegen

- § 38 Beschaffenheit und Betrieb von Fahrzeugen
- § 39 Erfüllung von zwischenstaatlichen Vereinbarungen und Beschlüssen der Europäischen Gemeinschaften
- § 40 Verkehrsbeschränkungen
- § 40a bis 40e
- § 41 Straßen und Schienenwege
- § 42 Entschädigung für Schallschutzmaßnahmen
- § 43 Rechtsverordnung der Bundesregierung

### **Fünfter Teil:** Überwachung und Verbesserung der Luftqualität, Luftreinhalteplanung, Lärminderungspläne

- § 44 Überwachung der Luftqualität
- § 45 Verbesserung der Luftqualität
- § 46 Emissionskataster
- § 46a Unterrichtung der Öffentlichkeit
- § 47 Luftreinhaltepläne, Aktionspläne, Landesverordnungen

### **Sechster Teil:** Lärminderungsplanung

- § 47a Anwendungsbereich des Sechsten Teils
- § 47b Begriffsbestimmungen
- § 47c Lärmkarten
- § 47d Lärmaktionspläne
- § 47e Zuständige Behörden
- § 47f Rechtsverordnungen

## Bundesimmissionsschutzgesetz (Deutschland) (3)

### **Siebenter Teil:** Gemeinsame Vorschriften

- § 48 Verwaltungsvorschriften
- § 48a Rechtsverordnungen über Emissionswerte und Immissionswerte
- § 48b Beteiligung des Bundestages beim Erlass von Rechtsverordnungen
- § 49 Schutz bestimmter Gebiete
- § 50 Planung
- § 51 Anhörung beteiligter Kreise
- § 51a Kommission für Anlagensicherheit
- § 51b Sicherstellung der Zustellungsmöglichkeit
- § 52 Überwachung
- § 52a Mitteilungspflichten zur Betriebsorganisation
- § 53 Bestellung eines Betriebsbeauftragten für Immissionsschutz
- § 54 Aufgaben
- § 55 Pflichten des Betreibers
- § 56 Stellungnahme zu Entscheidungen des Betreibers
- § 57 Vortragsrecht
- § 58 Benachteiligungsverbot, Kündigungsschutz
- § 58a Bestellung eines Störfallbeauftragten
- § 58b Aufgaben des Störfallbeauftragten
- § 58c Pflichten und Rechte des Betreibers gegenüber dem Störfallbeauftragten
- § 58d Verbot der Benachteiligung des Störfallbeauftragten, Kündigungsschutz
- § 58e Erleichterungen für auditierte Unternehmensstandorte
- § 59 Zuständigkeit bei Anlagen der Landesverteidigung
- § 60 Ausnahmen für Anlagen der Landesverteidigung
- § 61
- § 62 Ordnungswidrigkeiten
- § 62a
- §§ 63 bis 65

### **Achter Teil:** Schlussvorschriften

- § 66 Fortgeltung von Vorschriften
- § 67 Übergangsvorschrift
- § 67a Überleitungsregelung aus Anlass der Herstellung der Einheit Deutschlands
- §§ 68 bis 72
- § 73 Bestimmungen zum Verwaltungsverfahren
- Anhang (zu § 3 Abs. 6): Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik

### **Durchführungsverordnungen**

1. BImSchV über kleine und mittlere Feuerungsanlagen
4. BImSchV über genehmigungsbedürftige Anlagen
9. BImSchV über das Genehmigungsverfahren
11. BImSchV über Emissionserklärungen
12. BImSchV Störfall-Verordnung
13. BImSchV über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen
17. BImSchV über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen
21. BImSchV zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Fahrzeugen
26. BImSchV über elektromagnetische Felder zur Elektromagnetischen Umweltverträglichkeit EMVU (siehe Elektrosmog)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Bundes-Immissionsschutzgesetz>

<http://bundesrecht.juris.de/bimschg/index.html>

<http://www.luis.brandenburg.de/resymesa/ModulStelleStart.aspx?M=4>

<http://www.lai-immissionsschutz.de/servlet/is/7147/>

# Bundeswaldgesetz (Deutschland) (1)

Stand 1.1.1998

(Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft) Das Bundeswaldgesetz (BWaldG) ist insbesondere für den Zweck erlassen worden, den Wald wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner Bedeutung für die Umwelt, insbesondere für die dauernde Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, das Klima, den Wasserhaushalt, die Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern, die Forstwirtschaft zu fördern und einen Ausgleich zwischen dem Interesse der Allgemeinheit und den Belangen der Waldbesitzer herbeizuführen. Infolge des Bundeswaldgesetzes wurden in den Bundesländern entsprechend Landeswaldgesetze erlassen.

## Erstes Kapitel: Allgemeine Vorschriften

- § 1 Gesetzeszweck
- § 2 Wald
- § 3 Waldeigentumsarten
- § 4 Waldbesitzer

## Zweites Kapitel: Erhaltung des Waldes

- § 5 Vorschriften für die Landesgesetzgebung

### Abschnitt I

Forstliche Rahmenplanung und Sicherung der Funktionen des Waldes bei Planungen und Maßnahmen von Trägern öffentlicher Vorhaben

§§ 6 u. 7

§ 8 Sicherung der Funktionen des Waldes bei Planungen und Maßnahmen von Trägern öffentlicher Vorhaben

### Abschnitt II

Erhaltung und Bewirtschaftung des Waldes, Erstaufforstung

- § 9 Erhaltung des Waldes
- § 10 Erstaufforstung
- § 11 Bewirtschaftung des Waldes
- § 12 Schutzwald
- § 13 Erholungswald
- § 14 Betreten des Waldes

## Drittes Kapitel: Forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse

### Abschnitt I

Allgemeine Vorschrift

- § 15 Arten der forstwirtschaftlichen Zusammenschlüsse

### Abschnitt II

Forstbetriebsgemeinschaften

- § 16 Begriff
- § 17 Aufgaben der Forstbetriebsgemeinschaft
- § 18 Anerkennung
- § 19 Verleihung der Rechtsfähigkeit an Vereine
- § 20 Widerruf der Anerkennung

## Bundeswaldgesetz (Deutschland) (2)

### Abschnitt III

#### Forstbetriebsverbände

- § 21 Begriff und Aufgabe
- § 22 Voraussetzungen für die Bildung eines Forstbetriebsverbandes
- § 23 Bildung eines Forstbetriebsverbands
- § 24 Mitgliedschaft
- § 25 Satzung
- § 26 Organe des Forstbetriebsverbands
- § 27 Aufgaben der Verbandsversammlung
- § 28 Vorsitz in der Verbandsversammlung, Einberufung und Stimmenverhältnis
- § 29 Vorstand
- § 30 Verbandsausschuß
- § 31 Änderung der Satzung
- § 32 Ausscheiden von Grundstücken
- § 33 Umlage, Beiträge
- § 34 Aufsicht
- § 35 Verbandsverzeichnis
- § 36 Auflösung des Forstbetriebsverbandes

### Abschnitt IV

#### Forstwirtschaftliche Vereinigungen

- § 37 Begriff und Aufgabe
- § 38 Anerkennung

### Abschnitt V

#### Ergänzende Vorschriften

- § 39 Sonstige Zusammenschlüsse in der Forstwirtschaft
- § 40 Befreiung von Vorschriften des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen

### Viertes Kapitel

#### Förderung der Forstwirtschaft, Auskunftspflicht

- § 41 Förderung
- § 41a Bundeswaldinventur
- § 42 Auskunftspflicht
- § 43 Verletzung der Auskunftspflicht

### Fünftes Kapitel

#### Schlußvorschriften

- § 44 Allgemeine Verwaltungsvorschriften
- § 45 Anwendung des Gesetzes in besonderen Fällen
- § 46 Änderung von Vorschriften
- § 47
- § 48 Inkrafttreten, Aufhebung von Vorschriften

<http://de.wikipedia.org/wiki/Bundeswaldgesetz>

## **Umweltverträglichkeitsprüfung (Deutschland)**

Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung vom 12.2.1990 (BGBl. I) idF vom 18.8.1997; Stand 1.1.1998.

§ 1 Zweck des Gesetzes

§ 2 Begriffsbestimmungen

§ 3 Anwendungsbereich

§ 4 Vorrang anderer Rechtsvorschriften

§ 5 Unterrichtung über den voraussichtlichen Untersuchungsrahmen

§ 6 Unterlagen des Trägers des Vorhabens

§ 7 Beteiligung anderer Behörden

§ 8 Grenzüberschreitende Behördenbeteiligung

§ 9 Einbeziehung der Öffentlichkeit

§ 10 Geheimhaltung und Datenschutz

§ 11 Zusammenfassende Darstellung der Umweltauswirkungen

§ 12 Bewertung der Umweltauswirkungen und Berücksichtigung des Ergebnisses bei der Entscheidung

§§ 13 -20

<http://archiv.jura.uni-saarland.de/BIJUS/umwelt/uvpg/>

## Umweltinformationsgesetz (Deutschland)

Vom 8.7.1994 (BGBl. I S. 1490)

§ 1 Zweck des Gesetzes

§ 2 Anwendungsbereich

§ 3 Begriffsbestimmungen

§ 4 Anspruch auf Informationen über die Umwelt

§ 5 Antragstellung, Bescheidung von Anträgen

§ 6 Vertreter bei gleichförmigen Anträgen

§ 7 Ausschluß und Beschränkungen des Anspruchs zum Schutz öffentlicher Belange

§ 8 Ausschluß und Beschränkungen des Anspruchs zum Schutz privater Belange

§ 9 Zuständigkeit

§ 10 Kosten

§ 11 Unterrichtung der Öffentlichkeit über die Umwelt

<http://archiv.jura.uni-saarland.de/BIJUS/umwelt/uig/>

# Umweltschutzgesetz (Schweiz) (1)

Vom 7.10.2008 (Stand am 1.8.2008)

Das schweizerische Bundesgesetz über den Umweltschutz (kurz: Umweltschutzgesetz, Abk. USG) beruht auf den Artikeln 74 und 120 der Bundesverfassung. Danach erlässt der Bund „Vorschriften über den Schutz des Menschen und seiner natürlichen Umwelt vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen“ (Art. 74) und „über den Umgang mit Keim- und Erbgut von Tieren, Pflanzen und anderen Organismen“ (Art. 120). Datum des Gesetzes: 7. Oktober 1983, Inkrafttreten am: 1. Januar 1985, Letzte Änderung durch: AS 2007 2701; Inkrafttreten der letzten Änderung: 1. Juli 2007 und 1. Juli 2010.

**Zielsetzung:** Das Gesetz definiert in Artikel 1 das Ziel, „Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume gegen schädliche oder lästige Einwirkungen schützen sowie die natürlichen Lebensgrundlagen, insbesondere die biologische Vielfalt und die Fruchtbarkeit des Bodens, dauerhaft erhalten.“ Diese Zielsetzung ist seit 1. Januar 2004 in Kraft und wurde zuletzt am 21. März 2003 durch das Gentechnikgesetz verändert.

**Wichtigste Regelungsbereiche und -inhalte:** Besonders wichtig für die praktische Umweltpolitik in der Schweiz ist die Verankerung von vier Grundprinzipien des Umweltschutzes im USG:

- **Vorsorgeprinzip:** Art. 1 Abs. 2 fordert die frühzeitige Begrenzung von „Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden könnten“. Als wesentliches Instrument zur Umsetzung des Vorsorgeprinzips ist daher in den Art. 10a - 10d die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) vorgesehen. Danach unterliegen Projekte einer Prüfung, wenn diese die Umwelt erheblich belasten könnten. Die UVP umfasst insbesondere Aussagen über das zu erwartende Ausmass der Umweltbelastung und auch darüber, wie diese Belastungen reduziert und vermieden werden könnten.
- **Verursacherprinzip:** Art. 2 legt fest, dass der Verursacher von Maßnahmen nach dem USG dafür die Kosten zu tragen hat. Hiermit soll vermieden werden, dass die Kosten, die durch umweltbelastende Tätigkeiten verursacht werden, auf die Allgemeinheit abgewälzt werden. Eine Internalisierung dieser Kosten bereits bei der Ausübung der Tätigkeit trägt zu aussagekräftigeren Preisen und damit zu einem besseren marktwirtschaftlichen Wettbewerb bei.
- **Prinzip der Bekämpfung an der Quelle:** Nach Art. 11 gilt es Emissionen, die zur Verunreinigung der Luft beitragen, „durch Maßnahmen an der Quelle“ zu begrenzen. Denn anders als z.B. verschmutztes Wasser kann verunreinigte Luft nicht im nachhinein gesäubert werden.
- **Kooperationsprinzip:** In mehreren Bestimmungen, so in den Art. 31 und 41, werden Behörden, Wirtschaft und Bevölkerung zur Zusammenarbeit beim Vollzug des Gesetzes verpflichtet.

## 1. Titel: Grundsätze und allgemeine Bestimmungen

### 1. Kapitel: Grundsätze

Art. 1 Zweck

Art. 2 Verursacherprinzip

Art. 3 Vorbehalt anderer Gesetze

Art. 4 Ausführungsvorschriften aufgrund anderer Bundesgesetze

Art. 5 Ausnahmen für die Gesamtverteidigung

Art. 6 Information und Beratung

### 2. Kapitel: Allgemeine Bestimmungen

Art. 7 Definitionen

Art. 8 Beurteilung von Einwirkungen

Art. 9

Art. 10 Katastrophenschutz

### 3. Kapitel: Umweltverträglichkeitsprüfung

Art. 10a Umweltverträglichkeitsprüfung

Art. 10b Umweltverträglichkeitsbericht

Art. 10c Beurteilung des Berichts

Art. 10d Öffentlichkeit des Berichts 2. Titel: Begrenzung der Umweltbelastung

## Umweltschutzgesetz (Schweiz) (2)

### 2. Titel: Begrenzung der Umweltbelastung

#### 1. Kapitel: Luftverunreinigungen, Lärm, Erschütterungen und Strahlen

##### 1. Abschnitt: Emissionen

Art. 11 Grundsatz

Art. 12 Emissionsbegrenzungen

##### 2. Abschnitt: Immissionen

Art. 13 Immissionsgrenzwerte

Art. 14 Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen

Art. 15 Immissionsgrenzwerte für Lärm und Erschütterungen

##### 3. Abschnitt: Sanierungen

Art. 16 Sanierungspflicht

Art. 17 Erleichterungen im Einzelfall

Art. 18 Umbau und Erweiterung sanierungsbedürftiger Anlagen

##### 4. Abschnitt: Zusätzliche Vorschriften für den Schutz vor Lärm und Erschütterungen

Art. 19 Alarmwerte

Art. 20 Schallschutz bei bestehenden Gebäuden

Art. 21 Schallschutz bei neuen Gebäuden

Art. 22 Baubewilligungen in lärmbelasteten Gebieten

Art. 23 Planungswerte

Art. 24 Anforderungen an Bauzonen

Art. 25 Errichtung ortsfester Anlagen

#### 2. Kapitel: Umweltgefährdende Stoffe

Art. 26 Selbstkontrolle

Art. 27 Information der Abnehmer

Art. 28 Umweltgerechter Umgang

Art. 29 Vorschriften des Bundesrates 3. Kapitel: Umgang mit Organismen

#### 3. Kapitel: Umgang mit Organismen

Art. 29a Grundsätze

Art. 29b Tätigkeiten in geschlossenen Systemen

Art. 29c Freisetzungsversuche

Art. 29d Inverkehrbringen

Art. 29e Information der Abnehmer

Art. 29f Weitere Vorschriften des Bundesrates

Art. 29g Beratende Kommissionen

Art. 29h Aktenzugang

#### 4. Kapitel: Abfälle

##### 1. Abschnitt: Vermeidung und Entsorgung von Abfällen

Art. 30 Grundsätze

Art. 30a Vermeidung

Art. 30b Sammlung

Art. 30c Behandlung

Art. 30d Verwertung

Art. 30e Ablagerung

Art. 30f Verkehr mit Sonderabfällen

Art. 30g

Art. 30h Abfallanlagen

## Umweltschutzgesetz (Schweiz) (3)

### 2. Abschnitt: Abfallplanung und Entsorgungspflicht

#### Art. 31 Abfallplanung

##### Art. 31a Zusammenarbeit

##### Art. 31b Entsorgung der Siedlungsabfälle

##### Art. 31c Entsorgung der übrigen Abfälle

### 3. Abschnitt: Finanzierung der Entsorgung

#### Art. 32 Grundsatz

##### Art. 32a Finanzierung bei Siedlungsabfällen

##### Art. 32a bis Vorgezogene Entsorgungsgebühr

##### Art. 32b Sicherstellung bei Deponien

##### Art. 32b bis Finanzierung bei Aushubmaterial von belasteten Standorten

### 4. Abschnitt: Sanierung belasteter Standorte

#### Art. 32c Pflicht zur Sanierung

#### Art. 32d Tragung der Kosten

#### Art. 32e Abgabe zur Finanzierung der Maßnahmen

### 5. Kapitel: Belastungen des Bodens

#### Art. 33 Maßnahmen gegen Bodenbelastungen

#### Art. 34 Weitergehende Maßnahmen bei belasteten Böden

#### Art. 35 Richtwerte und Sanierungswerte für Bodenbelastungen

### 6. Kapitel: Lenkungsabgaben

#### Art. 35a Flüchtige organische Verbindungen

#### Art. 35b Schwefelgehalt von Heizöl «Extraleicht»

#### Art. 35b Schwefelgehalt von Benzin und Dieselöl

#### Art. 35c Abgabepflicht und Verfahren

## 3. Titel: Vollzug, Förderung und Verfahren

### 1. Kapitel: Vollzug

#### 1. Abschnitt: Vollzug durch die Kantone

##### Art. 36 Vollzugskompetenzen der Kantone

##### Art. 37 Ausführungsvorschriften der Kantone

#### 2. Abschnitt: Vollzug durch den Bund

##### Art. 38 Aufsicht und Koordination

##### Art. 39 Ausführungsvorschriften und völkerrechtliche Vereinbarungen

##### Art. 40 Inverkehrbringen serienmässig hergestellter Anlagen

##### Art. 41 Vollzugskompetenzen des Bundes

#### 2a. Abschnitt: Zusammenarbeit mit der Wirtschaft

##### Art. 41a

##### Art. 48 Gebühren

## Umweltschutzgesetz (Schweiz) (4)

### 3. Abschnitt: Besondere Bestimmungen über den Vollzug

- Art. 42 Umweltschutzfachstellen
- Art. 43 Auslagerung von Vollzugsaufgaben
- Art. 43a Umweltzeichen und Umweltmanagement
- Art. 44 Erhebungen über die Umweltbelastung
- Art. 44a Maßnahmenpläne bei Luftverunreinigungen
- Art. 45 Periodische Kontrollen
- Art. 46 Auskunftspflicht
- Art. 47 Information und Schweigepflicht

### 2. Kapitel: Förderung

- Art. 49 Ausbildung und Forschung
- Art. 50 Beiträge für Umweltschutzmaßnahmen bei Strassen
- Art. 51 Kontroll- und Überwachungseinrichtungen
- Art. 52 Abfallanlagen
- Art. 53 Internationale Zusammenarbeit zum Schutz der Umwelt

### 3. Kapitel: Verfahren

#### 1. Abschnitt: Rechtspflege

- Art. 54
- 2. Abschnitt: Verbandsbeschwerde gegen Verfügungen über Anlagen
- Art. 55 Beschwerdeberechtigte Organisationen
- Art. 55a Eröffnung der Verfügung
- Art. 55b Verlust der Beschwerdelegitimation
- Art. 55c Vereinbarungen zwischen Gesuchstellern und Organisationen
- Art. 55d Vorzeitiger Baubeginn
- Art. 55e Verfahrenskosten

#### 3. Abschnitt: Verbandsbeschwerde gegen Bewilligungen von Organismen

- Art. 55f
- 4. Abschnitt: Behörden- und Gemeindebeschwerde, Enteignung, Kosten von Sicherungs- und Behebungsmaßnahmen
- Art. 56 Behördenbeschwerde
- Art. 57 Gemeindebeschwerde
- Art. 58 Enteignung
- Art. 59 Kosten von Sicherungs- und Behebungsmaßnahmen

### 4. Titel: Haftpflicht

- Art. 59a Allgemeine Bestimmungen
- Art. 59a Pathogene Organismen
- Art. 59b Sicherstellung
- Art. 59c Verjährung
- Art. 59d Verjährung des Rückgriffsrechts

## Umweltschutzgesetz (Schweiz) (5)

### 5. Titel: Strafbestimmungen

Art. 60 Vergehen

Art. 61 Übertretungen

Art. 61a Widerhandlungen gegen die Vorschriften über die Lenkungsabgaben

Art. 62 Anwendung des Verwaltungsstrafrechts

### 6. Titel: Schlussbestimmungen

Art. 63

Art. 64 Anpassung von Verordnungen des Bundes

Art. 65 Umweltrecht der Kantone

Art. 66 Änderung von Bundesgesetzen

Art. 67 Referendum und Inkrafttreten

<http://de.wikipedia.org/wiki/Umweltschutzgesetz>

[http://www.admin.ch/ch/d/sr/814\\_01/index.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_01/index.html)



## (5) RESISTENZREIHEN (Bäume)

Literaturzitate zu den Resistenzreihen:

Dässler H.G. 1972: Zur Wirkungsweise der Schadstoffe. Der Einfluss von SO<sub>2</sub> auf Blattfarbstoffe. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, H.97, 353-366.

Davis D.D., Wilhour R.G. 1976: Susceptibility of woody plants to SO<sub>2</sub> and photochemical oxidants. A literature review. US

Davis D.D., Wood F.A. 1968: Relative sensitivity of 22 tree species to ozone. *Phytopathology* 58, 399.

Davis D.D., Wood F.A. 1972: Relative sensitivity of 18 tree species to ozone. *Phytopathology* 62, 14-19.

Drummond D.B. 1970: The sensitivity of 29 northeastern tree species to PAN. *Phytopathology* 60, 574.

Drummond D.B. 1971: Influence of high concentrations of PAN on woody plants. *Phytopathology* 61, 128.

Flagler R.B. 1998: Recognition of air pollution injury to vegetation. A pictorial atlas. Air and Waste Management Association. ISBN 0-923204-14-8. Pittsburgh, Pennsylvania.

Guderian R. 1977: Air pollution. *Ecological Studies* 22. Springer Berlin.

Hock B., Elstner E.F. 1995: Schadwirkungen auf Pflanzen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

Ranft H., Dässler H.G. 1970: Rauchhärte test an Gehölzen im Fichten-Rauchschadensgebiet. *Flora* 159, 573-588.

Schubert R. 1991: Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. Gustav Fischer Jena.

Van Haut H., Stratmann H. 1967: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von NO<sub>x</sub> auf Pflanzen. Schriftenreihe Landesanstalt Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen (BRD), Heft 7, 50-74.

Van Haut H. 1975: Kurzzeitversuche zur Ermittlung der relativen Phytotoxizität von Stickstoffdioxid. *Staub Reinh. Luft* 35, 187-193.

Wood F.A. 1970: The relative sensitivity of 16 deciduous tree species to ozone. *Phytopathology* 60, 579.

Wood F.A., Davis D.D. 1969: Relative sensitivity of 18 tree species to ozone. *Phytopathology* 59, 1058.



## Resistenzvergleiche

	SO <sub>2</sub>	HF	NH <sub>3</sub>	HCl / Cl <sub>2</sub>
<b>Koniferen</b>				
<i>Abies alba</i>	+++	+++	++	+++
<i>Larix decidua</i>	++	++	++	++
<i>Picea abies</i>	+++	+++	++	+++
<i>Picea omorica</i>	+++			++
<i>Picea pungens</i>	+	+		
<i>Pinus mugo</i>	+	+	+	
<i>Pinus nigra</i>	+	++	+	+
<i>Pinus strobus</i>	++	++		++
<i>Pinus sylvestris</i>	+++	++	++	+++
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	++			
<i>Taxus baccata</i>	++	++		
<b>Laubbäume</b>				
<i>Acer campestre</i>	-	+	+	
<i>Acer platanoides</i>	-	-	+	++
<i>Acer pseudoplatanus</i>	+	+	++	
<i>Aesculus hippocastanum</i>		+		
<i>Alnus glutinosa</i>		+		+++
<i>Betula pendula</i>	++	+	++	
<i>Carpinus betulus</i>	++	++	+++	+++
<i>Fagus sylvatica</i>	+	+	++	++
<i>Platanus acerifolia</i>	-	+	+	
<i>Populus alba</i>	++			
<i>Populus tremula</i>	+			+
<i>Quercus rubra</i>	-	+	-	++
<i>Robinia pseudoacacia</i>	-	+	+	+
<i>Sorbus aucuparia</i>	++			
<i>Tilia cordata</i>	++	++	+++	
<i>Tilia platyphyllos</i>	++		+++	
<i>Ulmus glabra</i>	+			

- sehr wenig empfindlich; + wenig empfindlich; ++ empfindlich; +++ sehr empfindlich

Schubert R. 1991: Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. Gustav Fischer Jena.

## Resistenzreihe (Ammoniak)

Sehr empfindlich	Mittlere Empfindlichkeit	Relativ gering empfindlich
<i>Alnus glutinosa</i> <i>Carpinus betulus</i> <i>Pinus strobus</i> <i>Tilia cordata</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i> <i>Betula pendula</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Larix kaempferi</i> <i>Larix decidua</i> <i>Picea abies</i> <i>Pinus sylvestris</i> <i>Taxus baccata</i> <i>Thuja occidentalis</i>	<i>Acer campestre</i> <i>Acer negundo</i> <i>Acer platanoides</i> <i>Chamaecyparis sp.</i> <i>Pinus mugo</i> <i>Pinus nigra</i> <i>Quercus robur</i> <i>Quercus rubra</i> <i>Robinia pseudoacacia</i>

Dässler H.G. 1991: Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Gustav Fischer Jena.

### Empfindlichkeit der Blätter von Sträuchern und Gehölzen gegenüber Ammoniak.

Sehr empfindlich	Mittlere Empfindlichkeit	Relativ geringe Empfindlichkeit
<i>Alnus glutinosa</i> <i>Alnus incana</i> <i>Carpinus betulus</i> <i>Juglans regia</i> <i>Physocarpus opulif.</i> <i>Pinus strobus</i> <i>Rhododendron jap.</i> <i>Tilia cordata</i> <i>Tilia tomentosa</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i> <i>Berberis spec.</i> <i>Betula nana</i> <i>Betula pendula</i> <i>Cornus mas</i> <i>Cotoneaster dammeri</i> <i>Eleagnus angustifolia</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Fraxinus excelsior</i> <i>Halimodendron purpurea</i> <i>Larix decidua</i> <i>Larix kaempferi</i> <i>Picea abies</i> <i>Pinus Sylvestris</i> <i>Ribes rang.</i> <i>Rosa rugosa</i> <i>Spirea hybr.</i> <i>Syringa vulgaris</i> <i>Taxus baccata</i> <i>Thuja occidentalis</i> <i>Viburnum lantana</i> <i>Weigelia hybr.</i>	<i>Acer campestre</i> <i>Acer ginnala</i> <i>Acer negundo</i> <i>Acer platanoides</i> <i>Amorpha fructinosa</i> <i>Buxus spec.</i> <i>Chamaecyparis spec.</i> <i>Crataegus monogyna</i> <i>Euonymus europaeus</i> <i>Forsythia intermedia</i> <i>Hahamelis spec.</i> <i>Ligustrum «Atrovirens »</i> <i>Lycium halmifolium</i> <i>Philadelphus coronarius</i> <i>Pinus mugo</i> <i>Pinus nigra</i> <i>Ptela trifoliata</i> <i>Pyracantha coccigea</i> <i>Quercus robur</i> <i>Quercus rubra</i> <i>Robinia pseudoacacia</i> <i>Tamarix tetrandia</i>

Van Haut H., Stratmann H. 1967: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von NO<sub>x</sub> auf Pflanzen. Schriftenreihe Landesanstalt Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen (BRD), Heft 7, 50-74.

## Resistenzreihe (Chlorwasserstoff)

### Sehr empfindlich

*Alnus glutinosa*  
*Alnus incana*  
*Carpinus betulus*  
*Picea abies*

### Mittlere Empfindlichkeit

*Acer platanoides*  
*Fagus sylvatica*  
*Larix decidua*  
*Larix kaempferi*  
*Picea omorika*  
*Pinus strobus*  
*Pinus sylvestris*  
*Quercus robur*  
*Quercus rubra*

### Relativ gering empfindlich

*Chamaecyparis lawsoniana*  
*Picea pungens*  
*Pinus nigra*  
*Populus tremula*  
*Robinia pseudoacacia*  
*Thuja plicata*

Dässler H.G. 1991: Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Gustav Fischer Jena.

## Resistenzreihe (Fluorwasserstoff)

### Sehr empfindlich

*Larix decidua*  
*Picea abies*  
*Pinus sylvestris*

### Empfindlich

*Alnus incana*  
*Carpinus betulus*  
*Castanea sativa*  
*Larix kaempferi*  
*Picea pungens*  
*Pinus nigra*  
*Pinus strobus*  
*Salix elaeagnus*  
*Taxus baccata*  
*Tilia cordata*

### Mittlere Empfindlichkeit

*Acer negundo*  
*Betula pendula*  
*Fagus sylvatica*  
*Fraxinus excelsior*  
*Pinus contorta*  
*Pinus mugo*  
*Platanus hybrida*  
*Populus candicans*  
*Prunus cerasifera*  
*Prunus serotina*  
*Quercus rubra*  
*Robinia pseudoacacia*  
*Salix caprea*  
*Ulmus glabra*  
*Ulmus minor*

### Weitgehend tolerant

*Acer campestre*  
*Acer platanoides*  
*Quercus robur*

Dässler H.G. 1972: Zur Wirkungsweise der Schadstoffe. Der Einfluss von SO<sub>2</sub> auf Blattfarbstoffe. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, H.97, 353-366.

## Resistenzreihen (Ozon) (1)

### Empfindlichkeit gegenüber Ozon (250 ppb, 8 Stunden).

Ozonempfindliche Koniferen	Ozonresistente Koniferen
<i>Larix decidua</i> *)	<i>Abies alba</i>
<i>Larix leptolepis</i>	<i>Abies balsamea</i>
<i>Pinus banksiana</i> *) **) ***)	<i>Abies concolor</i>
<i>Pinus nigra</i> *) **)	<i>Picea abies</i>
<i>Pinus rigida</i>	<i>Picea glauca</i>
<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Picea pungens</i>
<i>Pinus strobus</i>	<i>Pinus resinosa</i>
<i>Pinus virginiana</i> *) **)	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
<i>Tsuga canadensis</i>	<i>Thuja occidentalis</i>

\*) empfindlich auch bei 4-stündiger Begasung mit 250 ppb (8 Stunden)

\*\*) empfindlich bei 8-stündiger Begasung mit 100 ppb

\*\*\*) empfindlich bei 2-8-stündiger Begasung mit 100 ppb

Davis D.D., Wood F.A. 1968: Relative sensitivity of 22 tree species to ozone. *Phytopathology* 58, 399.

Davis D.D., Wood F.A. 1972: Relative sensitivity of 18 tree species to ozone. *Phytopathology* 62, 14-19.

Wood F.A., Davis D.D. 1969: Relative sensitivity of 18 tree species to ozone. *Phytopathology* 59, 1058.

### Empfindlichkeit gegenüber Ozon (250 ppb, 8 Stunden).

Ozonempfindliche Laubbäume	Ozonresistente Laubbäume
<i>Cercis canadensis</i>	<i>Acer platanoides</i>
<i>Fraxinus americana</i> *) **) ***)	<i>Acer saccharum</i>
<i>Gleditschia triacanthos</i> var. <i>inermis</i> *) **) ***)	<i>Cornus florida</i>
<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>Cornus racemosa</i>
<i>Liriodendron tulipifera</i> *) **) ***)	<i>Quercus imbricaria</i>
<i>Populus maximowiczii</i> x <i>trichocarpa</i> *) **) ***)	<i>Quercus robur</i>
<i>Platanus occidentalis</i> **)	<i>Tilia cordata</i>
<i>Quercus alba</i> *)	
<i>Quercus coccinea</i>	
<i>Quercus palustris</i>	
<i>Sorbus aucuparia</i> *)	

\*) empfindlich auch bei 4-stündiger Begasung mit 250 ppb (8 Stunden)

\*\*) empfindlich bei 8-stündiger Begasung mit 100 ppb

\*\*\*) empfindlich bei 2-8-stündiger Begasung mit 100 ppb

Davis D.D., Wood F.A. 1968: Relative sensitivity of 22 tree species to ozone. *Phytopathology* 58, 399.

Wood F.A., Coppolino J.B. 1972: The influence of ozone on deciduous forest tree species. *Mitt. Forstl. Bundesvers.Anst.* 97, 233-254.

Wood F.A. 1970: The relative sensitivity of 16 deciduous tree species to ozone. *Phytopathology* 60, 579.

## Resistenzreihe (Ozon) (2)

### Sehr empfindlich

*Larix decidua*  
*Pinus nigra*  
*Populus tremuloides*  
*Sorbus aucuparia*

### Empfindlich

*Acer negundo*  
*Larix kaempferi*  
*Pinus strobus*  
*Pinus sylvestris*

### Weniger empfindlich

*Acer platanoides*  
*Betula pendula*  
*Fagus sylvatica*  
*Picea abies*  
*Picea pungens*  
*Pseudotsuga menziesii*  
*Quercus robur*  
*Quercus rubra*  
*Robinia pseudoacacia*  
*Thuja occidentalis*  
*Tilia cordata*

Davis D.D., Wilhour R.G. 1976: Susceptibility of woody plants to SO<sub>2</sub> and photochemical oxidants. A literature review. US Environm. Protection Agency (USEPA), EPA-660/3-76-102.

## Resistenzreihe (Ozon) (3)

Liste ozonempfindlicher Baumarten (modifiziert nach Krupa et al. 1998 und ICP Forests).

Common name	Latin name
Ailanthus	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle
Alder	<i>Alnus</i> spp., <i>Alnus viridis</i> DC.
European Alder	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner
Aleppo Pine	<i>Pinus halepensis</i> Miller
Ash	<i>Fraxinus</i> spp., <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl subsp. <i>angustifolia</i>
Aspen	<i>Populus tremula</i> L., <i>Populus tremuloides</i> Michx.
Austrian Pine	<i>Pinus nigra</i> Arnold
Beech	<i>Fagus sylvatica</i> L.
Birch	<i>Betula pendula</i> Roth
Black Poplar	<i>Populus nigra</i> L.
Cluster Pine	<i>Pinus pinaster</i> Aiton
Black Locust	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.
Cornicabra	<i>Pistacia terebinthus</i> L.
Dogwood	<i>Cornus sanguinea</i> L.
Eastern White Pine	<i>Pinus strobus</i> L.
Field Maple	<i>Acer campestre</i> L.
Grey Alder	<i>Alnus incana</i> (L.) Moench
Green Ash	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall
Hawthorn	<i>Crataegus</i> spp.
Hornbeam	<i>Carpinus betulus</i> L.
Italian Maple	<i>Acer granatense</i> Boiss.
Italian Stone Pine	<i>Pinus pinea</i> L.
Larch	<i>Larix</i> spp.
Mastic	<i>Pistacia lentiscus</i> L.
Narrow-leaved Ash	<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl subsp. <i>angustifolia</i>
Norway Maple	<i>Acer platanoides</i> L.
Norway Spruce	<i>Picea abies</i> (L.) Karst.
Plane-trees	<i>Platanus</i> spp.
Ponderosa Pine	<i>Pinus ponderosa</i> Laws.
Poplar	<i>Populus</i> spp.
Rowan, Rowan Tree, European Mountain-Ash	<i>Sorbus aucuparia</i> L.
Wild Black Cherry	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.
Sassafras	<i>Sassafras albidum</i> (Nutt.) Nees.
Small-leaved Lime	<i>Tilia cordata</i> Miller
Smooth-leaved Elm	<i>Ulmus minor</i> Miller
Snowberry	<i>Symphoricarpos alba</i> (L.) S.F. Blake
Sweet Cherry, Wild Cherry	<i>Prunus avium</i> L.
Sweetgum	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.
Sycamore Maple	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.
Yellow Poplar	<i>Liriodendron tulipifera</i> L.
English Walnut	<i>Juglans regia</i> L.
White Mulberry	<i>Morus alba</i> L.
White Willow	<i>Salix alba</i> L.
Willow	<i>Salix</i> spp.
Wych Elm	<i>Ulmus glabra</i> Miller

Krupa S.V., Tonneijck A.E.G., Manning W.J. 1998: Ozone. In: Flagler R.B. (ed.), Recognition of air pollution injury to vegetation: A pictorial atlas, 2nd. Edition. Air and Waste Management Association, Pittsburg, PA, 1-28.

<http://www.ozone.wsl.ch>.

## Resistenzreihe (PAN)

Empfindlichkeit gegenüber PAN (200-300 ppb, 8 Stunden).

PAN-empfindliche Laubbäume	PAN-resistente Laubbäume	PAN-resistente Koniferen
<i>Acer saccharinum</i>	<i>Acer platanoides</i>	<i>Abies balsamea</i>
<i>Fraxinus americana</i> *)	<i>Acer saccharum</i>	<i>Abies concolor</i>
<i>Gleditsia triacanthos</i>	<i>Betula pendula</i>	<i>Larix decidua</i>
<i>Quercus alba</i> *)	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	<i>Larix leptolepis</i>
<i>Quercus palustris</i> *)	<i>Liquidambar styraciflora</i>	<i>Picea glauca</i>
<i>Quercus rubra</i> *)	<i>Liriodendron tulipifera</i>	<i>Picea pungens</i>
	<i>Malus pumila</i>	<i>Pinus nigra</i>
	<i>Populus maximowiczii x trichocarpa</i>	<i>Pinus resinosa</i>
	<i>Sorbus americana</i>	<i>Pinus rigida</i>
	<i>Tilia cordata</i>	<i>Pinus strobus</i>
		<i>Pinus sylvestris</i>
		<i>Pinus virginiana</i>
		<i>Pseudotsuga menziesii</i>
		<i>Thuja occidentalis</i>
		<i>Tsuga canadensis</i>

\*) resistent gegen 100-200 ppb (8 Stunden)

Drummond D.B. 1970: The sensitivity of 29 northeastern tree species to PAN. *Phytopathology* 60, 574.

Drummond D.B. 1971: Influence of high concentrations of PAN on woody plants. *Phytopathology* 61, 128.

## Resistenzreihe (Schwefeldioxid)

### Sehr empfindlich

*Larix decidua*  
*Picea abies*  
*Pinus ponderosa*  
*Pinus sylvestris*

### Empfindlich

*Larix kaempferi*  
*Picea omorica*  
*Pinus mugo*  
*Pinus nigra*  
*Salix pentandra*  
*Tilia cordata*

### Mittlere Empfindlichkeit

*Fagus sylvatica*  
*Picea pungens*  
*Sorbus aucuparia*

### Verhältnismäßig tolerant

*Acer negundo*  
*Taxus baccata*

### Weitgehend tolerant

*Chamaecyparis pisifera*  
*Platanus hybrida*

Ranft H., Dässler H.G. 1970: Rauchhärte test an Gehölzen im Fichten-Rauchschadensgebiet. Flora 159, 573-588.

## Resistenzreihe (Schwefeldioxid) für Begrünung

**Bäume und Sträucher, die für die Begrünung auf stark SO<sub>2</sub>-belasteten Standorten geeignet sind.**

<b>Gut geeignet</b>	<b>Mäßig geeignet</b>
<b>Laubbäume</b>	
<i>Acer platanoides</i>	<i>Castanea sativa</i>
<i>Buxus sempervirens</i>	<i>Ginkgo biloba</i>
<i>Celtis australis</i>	<i>Magnolia hypoleuca</i>
<i>Gleditsia triacanthos</i>	<i>Populus candicans</i>
<i>Platanus x hybrida</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>
Quercus-Arten	
<i>Sophora japonica</i>	
<b>Koniferen</b>	
Juniperus-Arten	Chamaecyparis-Arten
<i>Taxus baccata</i>	<i>Picea pungens f. glauca</i>
	<i>Pinus mugo</i>
	<i>Pinus nigra</i>
	Thuja-Arten
<b>Sträucher</b>	
<i>Calluna vulgaris</i>	Berberis-Arten
<i>Erica carnea</i>	<i>Forsythia intermedia</i>
<i>Gaultheria shallon</i>	<i>Prunus laurocerasus</i>
Ligustrum-Arten	<i>Rosa rugosa</i>
<i>Sambucus nigra</i>	<i>Weigelia florida</i>

Krüssmann G. 1970: Taschenbuch der Gehölzverwendung. Parey Berlin.

Däßler H.G. 1991: Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Vegetation.

Ursachen-Wirkungen-Gegenmaßnahmen. Fischer Jena.

## Resistenzreihen (Stickstoffoxide) (1)

**Empfindlichkeit gegenüber Stickstoffdioxid** (Blattempfindlichkeit; 200-300 ppb, 8 Stunden).

Sehr empfindlich	empfindlich	Weniger empfindlich
<b>Laubbäume</b>	<b>Laubbäume</b>	<b>Laubbäume</b>
<i>Betula pendula</i>	<i>Acer platanoides</i>	<i>Carpinus betulus</i>
<i>Malus sp.</i>	<i>Acer palmatum</i>	<i>Fagus sylvatica</i>
<i>Pyrus sp.</i>	<i>Tilia cordata</i>	<i>Fagus sylvatica atropurpurea</i>
		<i>Ginkgo biloba</i>
		<i>Quercus robur</i>
		<i>Robinia pseudoacacia</i>
<b>Koniferen</b>	<b>Koniferen</b>	<b>Koniferen</b>
<i>Larix decidua</i>	<i>Abies pectinata</i>	<i>Pinus nigra var. austriaca</i>
<i>Larix leptolepis</i>	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	<i>Pinus mugo var. mughus</i>
	<i>Picea alba</i>	<i>Taxus baccata</i>
	<i>Picea pungens glauca</i>	

Van Haut H. 1975: Kurzzeitversuche zur Ermittlung der relativen Phytotoxizität von Stickstoffdioxid. Staub Reinh. Luft 35, 187-193.

Sehr empfindlich

*Betula pendula*  
*Larix decidua*  
*Larix kaempferi*

Mittlere Empfindlichkeit

*Abies alba*  
*Acer platanoides*  
*Chamaecyparis lawsoniana*  
*Picea pungens glauca*  
*Tilia cordata*  
*Tilia platyphyllos*

Wenig empfindlich

*Carpinus betulus*  
*Fagus sylvatica*  
*Ginkgo biloba*  
*Pinus mugo*  
*Pinus nigra*  
*Quercus robur*  
*Robinia pseudoacacia*  
*Taxus baccata*  
*Ulmus glabra*

Van Haut H., Stratmann H. 1967: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von NO<sub>x</sub> auf Pflanzen. Schriftenreihe Landesanstalt Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen (BRD), Heft 7, 50-74.

## Resistenzreihen (Stickstoffoxide) (2)

Empfindlichkeit gegenüber Stickstoffdioxid (Blattempfindlichkeit).

Sehr empfindlich	empfindlich	Weniger empfindlich
<b>Laubbäume</b>	<b>Laubbäume</b>	<b>Laubbäume</b>
Weißbirke ( <i>Betula pendula</i> )	Spitzahorn ( <i>Acer platanoides</i> )	Hainbuche ( <i>Carpinus betulus</i> )
	Winterlinde ( <i>Tilia cordata</i> )	Rotbuche <i>Fagus sylvatica</i>
	Sommerlinde ( <i>Tilia platyphyllos</i> )	Stieleiche ( <i>Quercus robur</i> )
		Bergulme ( <i>Ulmus scabra</i> )
<b>Koniferen</b>	<b>Koniferen</b>	<b>Koniferen</b>
Europäische Lärche ( <i>Larix decidua</i> )	Tanne ( <i>Abies spec.</i> )	
Japanische Lärche ( <i>Larix leptolepis</i> )	Fichte ( <i>Picea spec.</i> )	

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 1983: Waldschäden und Luftverunreinigungen, Sondergutachten 1983 des SRU. Drucksache des Deutschen Bundestages Nr. 10 / 113.

Zitiert in: Schwill U. 1984: Zur Immissionsresistenz der Waldbaumarten. Allgemeine Forstzeitung, 1208-1211.

## Resistenzreihen (Bodenversalzung)

Relative Empfindlichkeit von nicht halophytischen Bäumen und Sträuchern gegen Bodenversalzung und Salzversprühung.

Salzempfindlich	Weniger empfindlich
<b>Sommergrüne Laubbäume und Sträucher</b>	
<i>Acer platanoides</i>	<i>Acer negundo</i>
<i>Aesculus</i>	<i>Ailantus</i>
<i>Carpinus</i>	<i>Elaeagnus</i>
<i>Euonymus</i>	<i>Fraxinus</i>
<i>Fagus</i>	<i>Gleditsia</i>
<i>Juglans</i>	<i>Hippophae</i>
<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Lycium</i>
<i>Platanus</i>	<i>Potentilla fruticosa</i>
<i>Prunus serotina</i>	Quercus-Arten
<i>Syringa</i>	<i>Robinia</i>
<i>Tilia</i>	<i>Sophora</i>
<b>Immergrüne breitlaubige Holzpflanzen</b>	
<i>Ilex</i> -Arten	<i>Coccoloba</i>
<i>Ligustrum lucidum</i>	<i>Ficus</i> -Arten
<i>Mahonia</i>	<i>Magnolia grandifolia</i>
<i>Trachelospermum</i>	<i>Nerium</i>
<b>Coniferen</b>	
<i>Abies</i>	<i>Juniperus chinensis</i>
<i>Picea</i>	<i>Pinus halepensis</i>
<i>Pinus strobus</i>	<i>Pinus nigra</i>
<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pinus ponderosa</i>
<i>Pseudotsuga</i>	
<i>Taxus</i>	

Larcher W. 2001: Ökophysiologie der Pflanzen. 6. Auflage. Eugen Ulmer Stuttgart.