

Verlängerte Arbeitszeiten und MAK-Werte

MAK-Begründung

A. Hartwig^{1,*}

MAK Commission^{2,*}

¹ *Vorsitz der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut für Angewandte Biowissenschaften, Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Adenauerring 20a, Geb. 50.41, 76131 Karlsruhe*

² *Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, 53175 Bonn*

* E-Mail: A. Hartwig (andrea.hartwig@kit.edu), MAK Commission (arbeitsstoffkommission@dfg.de)

Keywords

verlängerte Arbeitsschicht;
verlängerte Arbeitszeit;
Toxikokinetik; MAK-Wert;
maximale Arbeitsplatzkonzentration; Anpassung; Arbeitsplatzgrenzwert

Abstract

MAK values (maximum concentrations at the workplace) are valid for exposure periods of 8 hours per day and 40 hours per week. In case of extended work shifts, it may be necessary to reduce the exposure concentration below the MAK value. This depends on the mechanism of action (either controlled by the concentration or by the concentration-time product, $C \times T$) and the half-life of the substance or its active metabolite. Publications addressing this issue were reviewed. In general, exposure levels do not need to be reduced for irritant substances that act primarily by a concentration-based mechanism. The use of linear $C \times T$ extrapolation is proposed for systemically acting substances with an unknown mechanism of action and half-life. The reduction of exposure levels based on worst-case considerations is recommended for systemically acting substances with a known mechanism of action and/or half-life. For practical reasons, linear $C \times T$ extrapolation as prescribed by DIN EN 689 is sufficient to prevent toxicity after extended work shifts irrespective of the mechanism of action of the substance. In any case, the BAT value (biological tolerance value) of the substance has to be observed.

Citation Note:

Hartwig A, MAK Commission.
Verlängerte Arbeitszeiten und
MAK-Werte. MAK-Begründung.
MAK Collect Occup Health Saf.
2022 Mrz;7(1):Doc005.
[https://doi.org/10.34865/
mb0verlarbdgt7_1or](https://doi.org/10.34865/mb0verlarbdgt7_1or)

Manuskript abgeschlossen:
25 Feb 2021

Publikationsdatum:
31 Mrz 2022

Lizenz: Dieses Werk ist
lizenziert unter einer [Creative
Commons Namensnennung 4.0
International Lizenz](#).



Einleitung

MAK-Werte werden für eine tägliche Arbeitszeit von acht Stunden und eine 40-Stunden-Woche abgeleitet. Für den kontinuierlichen Betrieb von Produktionsanlagen sind in vielen Fällen Schichtsysteme mit täglichen Arbeitszeiten von bis zu zwölf Stunden eingeführt worden. Auch die durchschnittliche wöchentliche Arbeitszeit kann in diesen Fällen länger als 40 Stunden sein, wird dann aber später durch vermehrte Freischichten wieder ausgeglichen. Daher wird im Folgenden dargestellt, welche Konsequenzen die verlängerten Arbeitszeiten für die Grenzwerte am Arbeitsplatz haben.

Bei einer Befragung im Jahr 2015 arbeiteten von 17 944 nichtselbständigen Personen aus zehn Branchen 39 % bis zu 39 Stunden/Woche (Wöhrmann et al. 2016).

In der chemischen Industrie betrug 2013 die tarifliche wöchentliche Arbeitszeit in Gesamtdeutschland 37,7 Stunden. Jedoch arbeiteten 59 % länger als die vereinbarte Arbeitszeit (Institut DGB-Index Gute Arbeit 2014).

Beispiele für Schichtsysteme

Beispielhaft werden einige in Deutschland gebräuchliche Schichtsysteme gezeigt (Bolt und Rutenfranz 1988):

4 Schichtgruppen: $1 \times (7 \times 8 \text{ h}), 1 \times (6 \times 8 \text{ h}), 2 \times (4 \times 8 \text{ h})$ /Woche (Wo) = Durchschnitt 42 h/Wo, 56 h/Wo maximal

4 Schichtgruppen: $4 \times (2 \times 12 \text{ h} + 2 \text{ freie Tage})$ = Durchschnitt 42 h/Wo (mit 1 h Pause = 38,5 h/Wo), 48 h/Wo maximal

4 Schichtgruppen: $2 \times (6 \times 8 \text{ h} + 1 \times 12 \text{ h}), 1 \times (6 \times 8 \text{ h}), 1 \times 7 \text{ freie Tage}$ = Durchschnitt 42 h/Wo, 60 h/Wo maximal

Es gibt noch viele weitere Schichtsysteme (DGUV 2009).

Es kann also zu deutlich längeren Arbeitszeiten als acht Stunden pro Tag bzw. 40 Stunden pro Woche kommen.

Konsequenzen für Grenzwerte

Diese Problematik und Lösungsansätze dafür wurden von mehreren Autoren beschrieben (Armstrong et al. 2005; Bolt und Rutenfranz 1988; Brief und Scala 1975; Fiserova-Bergerova und Vlach 1997; Hickey und Reist 1977; Roach 1978; Saltzman 1988; Verma 2000).

Prinzipiell hängt die Auswirkung der verlängerten Arbeitszeit auf den Grenzwert vom Wirkungsmechanismus des Stoffs ab. Die toxische Wirkung eines Stoffs oder seines kritischen Metaboliten kann entweder hauptsächlich von seiner Konzentration (C-abhängig) oder hauptsächlich von seinem Konzentrations-Zeit-Produkt ($C \times T$ -abhängig) am Zielort bestimmt sein.

Im ersten Fall ist die Wirkung nicht abhängig von der Dauer der Exposition. Dies gilt für die Stoffe, die in die **Kurzzeitwert-Kategorie I** der MAK- und BAT-Werte-Liste eingeordnet sind, also z. B. für alle Stoffe, die hauptsächlich (sensorisch) irritativ wirken. Die MAK-Werte dieser Stoffe müssten in den meisten Fällen nicht an eine längere Arbeitszeit angepasst werden.

Bei den Stoffen der **Kurzzeitwert-Kategorie II** der MAK- und BAT-Werte-Liste, die hauptsächlich systemisch-toxisch wirken, ist zu unterscheiden, ob die Effekte über die Konzentration (C-abhängig) oder das Konzentrations-Zeit-Produkt ($C \times T$ -abhängig) vermittelt sind. Hierbei kommt der Toxikokinetik (Halbwertszeit) des Stoffs bzw. des kritischen Metaboliten eine wichtige Rolle zu. Diese Zusammenhänge wurden bereits in den 1970er Jahren (Hickey und Reist 1977) und später (Fiserova-Bergerova und Vlach 1997) toxikokinetisch mit einem Ein-Kompartiment-Modell modelliert. Anhand von Stoffen mit Halbwertszeiten von 1, 10 und 1000 Stunden wurden die Konsequenzen für die Grenzwerte am Arbeitsplatz (hier für verschiedene Schichtsysteme in den USA) mathematisch abgeleitet (Fiserova-Bergerova und Vlach 1997). In Abhängigkeit von der Halbwertszeit und dem Mechanismus (C- oder $C \times T$ -abhängig) wurden von den Autoren Expositionsreduktions-Faktoren (EF) errechnet, mit denen der Grenzwert zu multiplizieren ist, um diesen an die längeren Arbeitszeiten anzupassen (Tabelle 1) (Fiserova-Bergerova und Vlach 1997).

Tab. 1 Expositionsreduktionsfaktoren (EF) für vier Parameter der inneren Belastung bei systemisch-toxischen Stoffen (Fiserova-Bergerova und Vlach 1997)

Parameter	größte Reduktion			
	$t_{1/2} < 4$ h EF1	$t_{1/2}$ (h) ^{a)}	EF2	$t_{1/2} > 20$ Tage EF3
Konzentration	1	6–18	$\frac{1}{2}(8/T+40/W)$	40/W
AUC _{Exp}	8/T	3–14	$8/T \times 16(T+t)$	8/T \times 40/W
AUC _{Tag}	8/T		8/T	40/W
AUC _{Woche}	40/W		40/W	40/W

AUC_{Exp}: kumulative Exposition während der Schicht; AUC_{Tag}: kumulative Exposition während eines Tages; AUC_{Woche}: kumulative Exposition während einer Woche; $t_{1/2}$: Halbwertszeit; T: Dauer der längsten Schicht in der Woche (in Stunden); t: Dauer der Schicht, die der längsten vorhergeht oder folgt (in Stunden); W: wöchentliche Arbeitszeit (in Stunden)

a) Bereich der Halbwertszeiten, die zum geringsten EF2 führen

Für die **C-abhängigen** Stoffe (Parameter „Konzentration“ in [Tabelle 1](#)) kann der EF in Abhängigkeit von der Halbwertszeit ($t_{1/2}$) und der verlängerten täglichen Arbeitszeit (T) bzw. der verlängerten wöchentlichen Arbeitszeit (W) der [Tabelle 1](#) entnommen werden. Bei Stoffen mit einer Halbwertszeit < 4 Stunden muss der Grenzwert nicht reduziert werden. Laut Abbildungen in der Publikation müsste der EF bei einer Halbwertszeit von vier Stunden tatsächlich 0,9 statt 1 sein. Diese geringe Abweichung dürfte aber in der Praxis vernachlässigbar sein.

Für **C \times T-abhängige** Stoffe (AUC_{exp}, AUC_{Tag}, AUC_{Woche} in [Tabelle 1](#)) ist vereinfacht das Verhältnis zwischen Standardarbeitszeit acht Stunden und der verlängerten täglichen Arbeitszeit bei Stoffen mit Halbwertszeiten unter vier Stunden maßgebend für den EF (= 8/T). Bei Stoffen mit Halbwertszeiten über 20 Tagen ist es das Verhältnis der Standardwochenarbeitszeit 40 Stunden zu verlängerter wöchentlicher Arbeitszeit (= 40/W). Die größte Reduktion ergibt sich für das Maß AUC_{exp}, die kumulative Exposition während der Schicht. Ob dies tatsächlich ein brauchbares Maß ist, ist fraglich, da der Grenzwert in der Regel aus Tierversuchen abgeleitet ist, bei denen die Tiere täglich im Abstand von 24 Stunden dosiert werden und der Stoff so lange einwirken kann, bis die nächste Dosisgabe erfolgt (das entspricht AUC_{Tag}).

Diese Berechnungen gelten für wöchentliche Arbeitszyklen und für den Fall, dass Arbeitszeit plus Ruhezeit = 24 Stunden (circadianer Rhythmus). Diese Voraussetzungen sind jedoch für ein 4-Schichtsystem mit 12-Stunden-Schichten nicht erfüllt, da ein Zyklus statt sieben Tage vier Tage umfasst (zwei Arbeitstage, zwei Ruhetage).

Für diese Fälle ist von Armstrong et al. (2005) für systemisch-toxische Stoffe, **die über die Konzentration wirken**, basierend auf dem toxikokinetischen Modell von Hickey und Reist (1977) eine Formel zur Berechnung dieser EF veröffentlicht worden. Mit deren Hilfe kann für Schichtsysteme mit verlängerter Schichtdauer, anhand der Schichtlänge, der Pausen zwischen zwei Schichten, der Zahl der Schichten pro Woche und der arbeitsfreien Tage pro Woche bei bekannter Halbwertszeit der EF berechnet werden. Von den Autoren wurde nachgewiesen, dass der maximale EF bei einem (extremen) System mit zwölf 12-Stunden-Schichten und 12-Stunden-Erholungszeiten dazwischen mit zwölf anschließenden Erholungstagen etwa 0,6 beträgt.

Bei weniger extremer Schichtabfolge sind die EF geringer: Bei einem Schichtsystem mit drei bis vier 12-Stunden-Schichten pro Woche dürfte der EF etwa 0,7 betragen (siehe Kurve C in [Abbildung 1](#) in Verma 2000).

Einfluss der Schichtarbeit auf die Toxikokinetik/-dynamik (Chronotoxikologie)

Für manche Stoffe (v. a. Pharmaka) wurde eine diurnale Variation der Suszeptibilität bei Ratten gezeigt. Auch beim Menschen wurden solche Unterschiede bei der hepatischen Metabolisierung von Pharmaka gezeigt. Diese Unterschiede sind auf den Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme zurückzuführen. Mit Asbestfasern wurde gezeigt, dass bei Ratten bei einem umgekehrten Tag-Nacht-Rhythmus die Clearance der Fasern schneller verläuft als normal. Die Gründe dafür sind unbekannt (Bolt und Rutenfranz 1988).

In einem neueren Review wurden zahlreiche weitere Beispiele genannt und vorgeschlagen, diese Aspekte weiter zu erforschen und bei der Grenzwertfestsetzung für Schichtarbeit zu berücksichtigen, ohne jedoch ein konkretes Vorgehen zu benennen (Smolensky et al. 2019).

In einer Studie an Mäusen wurde nachgewiesen, dass die Unterbrechung des circadianen Rhythmus die Tumorentstehung fördert (Filipski und Lévi 2009).

Fazit

Für die oben beschriebenen Berechnungen müssen der Wirkungsmechanismus und die Halbwertszeit bekannt sein. Dies ist in vielen Fällen nicht der Fall. Vereinfachte Worst-Case-Annahmen für die Höhe des EF bei **systemisch wirkenden Stoffen** werden wie folgt vorgeschlagen:

Tab. 2 Höhe der Expositionsreduktionsfaktoren (EF) in Abhängigkeit von Mechanismus und Halbwertszeit des Stoffes (oder des aktiven Metaboliten)

Mechanismus	$t_{1/2}$ unbekannt	$t_{1/2}$ bekannt
unbekannt	lineare C \times T-Extrapolation	EF = 40/W
C	EF = 0,7	EF = 0,6–1 mit Formel nach Armstrong et al. (2005)
C \times T	EF = kleinerer Wert von 8/T und 40/W (lineare C \times T-Extrapolation)	<p>< 20 Tage: EF = kleinerer Wert von 8/T und 40/W (lineare C \times T-Extrapolation)</p> <p>> 20 Tage: EF = 40/W</p> <p>>> 20 Tage (z. B. GBS): EF = 1 weil kumulative Exposition über das Jahresmittel gleich ist wie bei 40-Stunden-Woche</p>

GBS: granuläre biobeständige Stäube; $t_{1/2}$: Halbwertszeit; T: verlängerte tägliche Arbeitszeit (in Stunden); W: verlängerte wöchentliche Arbeitszeit (in Stunden)

Die lineare C \times T-Extrapolation entspricht dem üblichen Messverfahren nach DIN EN 689 (DIN 2020), bei dem die Expositions-konzentration der Stoffe unabhängig von ihrem Wirkungsmechanismus und ihren toxikokinetischen Eigenschaften auf eine Schichtdauer von acht Stunden umgerechnet wird. Dies ist ein pragmatisches Vorgehen, bei dem bei verlängerten Arbeitszeiten sichergestellt ist, dass der MAK-Wert und das ihm entsprechende 40-Stunden-Konzentrations-Produkt eingehalten werden. Da für die meisten Stoffe keine Informationen zum Wirkungsmechanismus und zur Halbwertszeit vorliegen, ist dieses Vorgehen in der Praxis gerechtfertigt.

BAT-Werte werden entweder an der Beziehung der inneren Belastung zur kritischen Beanspruchung oder an der Korrelation zum MAK-Wert bei einer arbeitstägigen Belastung von acht Stunden abgeleitet. Da adverse Effekte unterhalb des BAT-Wertes nicht auftreten dürfen, ist dieser unabhängig von der Schichtdauer. Daher ist der BAT-Wert in jedem Fall einzuhalten.

Anmerkungen

Interessenkonflikte

Die in der Kommission etablierten Regelungen und Maßnahmen zur Vermeidung von Interessenkonflikten (www.dfg.de/mak/interessenkonflikte) stellen sicher, dass die Inhalte und Schlussfolgerungen der Publikation ausschließlich wissenschaftliche Aspekte berücksichtigen.

Literatur

- Armstrong TW, Caldwell DJ, Verma DK (2005) Occupational exposure limits: an approach and calculation aid for extended work schedule adjustments. *J Occup Environ Hyg* 2(11): 600–607. <https://doi.org/10.1080/15459620500340822>
- Bolt HM, Rutenfranz J (1988) The impact of aspects of time and duration of exposure on toxicokinetics and toxicodynamics of workplace chemicals. In: Notten WRF, Hunter WJ, Herber RFM, Monster AC, Zielhuis RL, Hrsg. Health surveillance of individual workers exposed to chemical agents. *International Archives of Occupational and Environmental Health Supplement*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 113–120. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73476-2_14
- Brief RS, Scala RA (1975) Occupational exposure limits for novel work schedules. *Am Ind Hyg Assoc J* 36(6): 467–469. <https://doi.org/10.1080/0002889758507272>
- DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung), Hrsg (2009) Arbeitsmedizinische Fortbildungsveranstaltung „Gesundheitliche Risiken durch Schichtarbeit“. Heidelberg: DGUV Landesverband Südwest. https://www.dguv.de/medien/landesverbaende/de/medien/infomat/lv8_suedwest/documents/lv8_heft47_praev.pdf, abgerufen am 08 Nov 2019
- DIN (Deutsches Institut für Normung), Hrsg (2020) DIN EN 689:2020-01. Exposition am Arbeitsplatz – Messung der Exposition durch Einatmung chemischer Arbeitsstoffe – Strategie zur Überprüfung der Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten; Deutsche Fassung EN 689:2018+AC:2019. Berlin: Beuth. <https://doi.org/10.31030/2778561>
- Filipki E, Lévi F (2009) Circadian disruption in experimental cancer processes. *Integr Cancer Ther* 8(4): 298–302. <https://doi.org/10.1177/1534735409352085>
- Fiserova-Bergerova V, Vlach J (1997) Exposure limits for unconventional shifts: toxicokinetic and toxicodynamic considerations. *Am J Ind Med* 31(6): 744–755. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0274\(199706\)31:6<744::aid-ajim12>3.0.co;2-y](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0274(199706)31:6<744::aid-ajim12>3.0.co;2-y)
- Hickey JLS, Reist PC (1977) Application of occupational exposure limits to unusual work schedules. *Am Ind Hyg Assoc J* 38(11): 613–621. <https://doi.org/10.1080/00028897708984405>
- Institut DGB-Index Gute Arbeit (2014) Der Report 2014. Wie die Beschäftigten die Arbeitsbedingungen in Deutschland beurteilen. Berlin: Institut DGB-Index Gute Arbeit. <https://index-gute-arbeit.dgb.de/++co++e9e9ca56-7a41-11e4-93ae-52540023ef1a>, abgerufen am 27 Jan 2022
- Roach SA (1978) Threshold limit values for extraordinary work schedules. *Am Ind Hyg Assoc J* 39(4): 345–348
- Saltzman BE (1988) Linear pharmacokinetic models for evaluating unusual work schedules, exposure limits and body burdens of pollutants. *Am Ind Hyg Assoc J* 49: 213–25. <https://doi.org/10.1080/15298668891379648>
- Smolensky MH, Reinberg AE, Fischer FM (2019) Working Time Society consensus statements: Circadian time structure impacts vulnerability to xenobiotics – relevance to industrial toxicology and nonstandard work schedules. *Ind Health* 57(2): 158–174. <https://doi.org/10.2486/indhealth.SW-2>
- Verma DK (2000) Adjustment of occupational exposure limits for unusual work schedules. *AIHAJ* 61(3): 367–374. <https://doi.org/10.1080/15298660008984545>
- Wöhrmann AM, Gerstenberg S, Hünefeld L, Pundt F, Reeske-Behrens A, Brenscheidt F, Beermann B (2016) Arbeitszeitreport Deutschland 2016. Dortmund: BAuA. <https://doi.org/10.21934/BAUA:BERICHT20160729>