

Entwicklung von Kriterien und Methoden für nachhaltige Chemikalien

Endbericht zum Forschungsvorhaben FKZ: 3708 65 402

Bericht für das
Umweltbundesamt

Freiburg, Januar 2010

Autor/innen:

Privatdozent Dr. Dirk Bunke, Öko-Institut e.V.

Antonia Reihlen, Ökopol GmbH

Rita Groß, Öko-Institut e.V.

Dirk Jepsen, Ökopol GmbH

Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 50 02 40

79028 Freiburg, Deutschland

Hausadresse

Merzhauser Straße 173

79100 Freiburg, Deutschland

Tel. +49 (0) 761 – 4 52 95-0

Fax +49 (0) 761 – 4 52 95-88

Ökopol GmbH

Nernstweg 32 - 34

22765 Hamburg

Tel. +49 (0) 40 -391002-0

Fax +49 (0) 40 -391002-33

Berichtskennblatt Deutsch

1. ISBN oder ISSN -	2. Berichtsart Endbericht
3a. Titel des Berichts Entwicklungen von Kriterien und Methoden für nachhaltige Chemikalien	
3b. Titel der Publikation Veröffentlichung in Vorbereitung	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Bunke, Dirk; Reihlen, Antonia; Groß, Rita; Jepsen, Dirk	5. Abschlußdatum des Vorhabens 31.12.2009
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	6. Veröffentlichungsdatum 15. Januar 2010
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Öko-Institut e.V., <u>Merzhauser Straße 173</u> , 79100 Freiburg <u>Ökopoll GmbH</u> , Nernstweg 32 – 34, 22 756 Hamburg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution Bericht 8547
	10. Förderkennzeichen FKZ: 3708 65 402
	11a. Seitenzahl Bericht 100 <u>Seiten (einschließlich An-</u> <u>hänge)</u>
	11b. Seitenzahl Publikation -
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Umweltbundesamt, FB IV 1.1: Nationale und Internationale Chemikaliensicherheit	12. Literaturangaben 7
	14. Tabellen 17
	15. Abbildungen 5
16. Zusätzliche Angaben	17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)
18. Kurzfassung Im Forschungsprojekt ist in Zusammenarbeit mit Praktikern aus Unternehmen ein Leitfaden erarbeitet worden, wie nachhaltige Chemikalien konkret in Handels- und Wertschöpfungsketten ausgewählt werden können. Der Leitfaden ist als <u>Anwendungskonzept</u> aufgebaut. Die wesentliche Aufgabe besteht hierbei darin, aufzuzeigen, welche Informationen aus unterschiedlichen Quellen miteinander zu kombinieren sind, um eine umfassende Einschätzung der Nachhaltigkeit von Chemikalien und ihren Anwendungen vornehmen zu können. Zunächst werden vorhandene Konzepte nachhaltiger Chemie verglichen. Auf der Grundlage dieser Auswertung werden Nachhaltigkeitskriterien beschrieben, die sich spezifisch auf Chemikalien beziehen, und als Leitfaden für Stoffhersteller, Formulierer und Anwender zur Stoffauswahl dargestellt. Hierbei wird unterschieden zwischen stoffbezogenen Kriterien, die nur vom Stoff abhängen, und <u>anwendungsbezogenen</u> Kriterien, die mit der Art der Verwendung des Stoffes zusammenhängen. Der Ansatz geht hierbei über die klassische Ermittlung der gefährlichen Eigenschaften von Stoffen hinaus und bezieht auch Gesichtspunkte wie den Ressourcenverbrauch, die CO ₂ -Freisetzung und die soziale Verantwortung der Unternehmen mit ein. Auch wenn für diese Themen noch keine ausgereiften, quantifizierbaren Kriterien zur Verfügung stehen, werden im Leitfaden Hilfestellungen für eine Bewertung gegeben.	
19. Schlagwörter Nachhaltige Chemie, Nachhaltige Chemikalien, Hersteller, Formulierer, nachgeschaltete Anwender, REACH, Leitfaden, Soziale Verantwortung, Ökobilanzen, Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe, EMKG, <u>Benign by Design</u> , Short Range Chemicals.	
20. Verlag	21. Preis

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Branchen-Informationen zur Funktionalität und Nutzbarkeit für ein Nachhaltigkeitsscreening	1
3	Notwendigkeit für einen Leitfaden zu nachhaltigen Chemikalien	2
4	Zielgruppe	2
5	Der Einbezug „neuer“ Themen	3
6	Der Aufbau des Leitfadens	3
7	Das Ergebnis der Anwendung der Kriterien	4
8	Dokumentation der Ergebnisse	4
	Anhang 1: Der Leitfaden Nachhaltige Chemikalien	5
	Anhang 2: Die Dokumentation bestehender Konzepte nachhaltiger Chemie	6
1	Recherche und Analyse vorhandener Konzepte mit Kriterien für Nachhaltige Chemikalien	7
1.1	Ansätze einer Nachhaltigen Chemiepolitik	7
1.1.1	Prinzipien von Anastas und Warner	8
1.1.2	Leitgedanken zum Stand der besten verfügbaren Technik (IVU Richtlinie, Anhang IV)	9
1.2	Allgemeine Kriterien für eine Nachhaltige Chemie	10
1.3	Short Range Chemicals	10
1.3.1	Kurzcharakterisierung	10
1.3.2	Schwerpunktsetzung	13
1.3.3	Adressat	14
1.3.4	Angesprochene Abschnitte im Lebenszyklus	14
1.3.5	Erforderliche Informationen für die Abschnitte im Lebenszyklus, die angesprochen werden	14
1.3.6	Bezug zu den 12 Prinzipien von Anastas und Warner	15
1.3.7	Bezug zu den fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß Umweltbundesamt	16
1.3.8	Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien	17

1.3.9	Verfügbarkeit von Beispielen (mit Verweis, ggf. Dokumentation in Anhang)	17
1.3.10	Referenzen	17
1.4	Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe	17
1.4.1	Kurzcharakterisierung	17
1.4.2	Schwerpunktsetzung	19
1.4.3	Adressat	19
1.4.4	Angesprochene Abschnitte im Lebenszyklus	19
1.4.5	Erforderliche Informationen für die Abschnitte im Lebenszyklus, die angesprochen werden	19
1.4.6	Bezug zu den 12 Prinzipien von Anastas und Warner	20
1.4.7	Bezug zu den fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß Umweltbundesamt	20
1.4.8	Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien	21
1.4.9	Verfügbarkeit von Beispielen	21
1.4.10	Referenzen	24
1.5	Nachhaltige Chemie - Perspektiven für Wertschöpfungsketten und Rahmenbedingungen für die Umsetzung (Umweltbundesamt)	24
1.5.1	Kurzcharakterisierung (Aufbau und Ziel des Konzeptes)	24
1.5.2	Schwerpunktsetzung	29
1.5.3	Adressat	29
1.5.4	Angesprochene Abschnitte im Lebenszyklus	30
1.5.5	Erforderliche Informationen für die Abschnitte im Lebenszyklus, die angesprochen werden	30
1.5.6	Bezug zu den 12 Prinzipien von Anastas und Warner	30
1.5.7	Bezug zu den fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß Umweltbundesamt	30
1.5.8	Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien	30
1.5.9	Verfügbarkeit von Beispielen	31
1.5.10	Referenzen	31
1.6	Benign by design – Die Reduzierung von Umweltbelastungen durch gezieltes Moleküldesign	31
1.6.1	Kurzcharakterisierung	31
1.6.2	Schwerpunktsetzung	32
1.6.3	Adressat	32
1.6.4	Angesprochene Abschnitte im Lebenszyklus	32
1.6.5	Erforderliche Informationen für die Abschnitte im Lebenszyklus, die angesprochen werden	32
1.6.6	Bezug zu den 12 Prinzipien von Anastas und Warner	32

1.6.7	Bezug zu den fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß Umweltbundesamt	32
1.6.8	Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien	33
1.6.9	Verfügbarkeit von Beispielen (mit Verweis, ggf. Dokumentation in Anhang)	33
1.6.10	Referenzen	33
Anlage A-1:	The Twelve Principles of Green Chemistry.	37

1 Einführung

Im Forschungsprojekt wurde in Zusammenarbeit mit Praktikern aus Unternehmen ein Leitfaden erarbeitet, wie nachhaltige Chemie konkret in Handels- und Wertschöpfungsketten umgesetzt werden kann. Der Leitfaden ist als Anwendungskonzept aufgebaut.

Die wesentliche Aufgabe bestand hierbei darin aufzuzeigen, welche Informationen aus unterschiedlichen Quellen zukünftig miteinander zu kombinieren sind und wie Informationsgewinnung und –auswertung in der Praxis gelingen können. Darauf aufbauend kann der Anwender eine umfassende Einschätzung der Nachhaltigkeit von Chemikalien und ihren Anwendungen vornehmen.

Im ersten Arbeitsschritt wurden vorhandene Konzepte nachhaltiger Chemie verglichen. Dies geschah mit dem Ziel, einen Überblick über die Gesamtheit der wichtigsten Themenbereiche zu erhalten. Ergänzend ausgewertet wurden Unternehmenspräsentationen, die auf der ChemSec-Konferenz zur Vorstellung der Substitute-it-now-Liste im Oktober 2008 gezeigt wurden¹, Projekte der Auftragnehmer mit Chemieunternehmen und zugehörigen Verbänden² sowie Beiträge des Impuls-Workshop „Sustainability“ der Cognis GmbH, der am 11. November 2008 in Monheim durchgeführt wurde.

Im zweiten Arbeitsschritt erfolgten dann auf der Grundlage dieser Auswertung die Erarbeitung von Nachhaltigkeitskriterien, die sich spezifisch auf Chemikalien beziehen, und die Darstellung in Form eines Leitfadens für Unternehmen.

2 Branchen-Informationen zur Funktionalität und Nutzbarkeit für ein Nachhaltigkeitsscreening

Als weitere Grundlage für die Erarbeitung des Leitfadens wurde im Austausch mit industriellen Anwendern von Chemikalien und Gemischen analysiert, welche Informationen in den einzelnen Wertschöpfungsketten bislang kommuniziert werden. Hierbei wurde auch geklärt, wie diese Informationen für eine Bewertung der Nachhaltigkeit von Chemikalien genutzt werden können und wo noch Ergänzungsbedarf besteht.

Die erforderlichen Arbeiten wurden in vier Schritten durchgeführt:

- Identifikation geeigneter Unternehmen und Ansprechpartner;
- Vorgespräch mit den Unternehmen (Information über die Zielsetzung des Projektes, Klärung ob Interesse an einem Austausch besteht, erste Informationsbeschaffung zu den im Unternehmen eingesetzten Konzepten/Ansätzen/Kriterien);
- Einladung der Unternehmen zu einem Fachgespräch im kleinen Kreis;
- Durchführung und Auswertung des Fachgespräches.

Die Ergebnisse des Fachgespräches wurden in den Leitfaden eingearbeitet. Der Entwurf des Leitfadens wurde den am Fachgespräch beteiligten Unternehmen zur Kommentierung zur

¹ siehe hierzu auch: <http://www.chemsec.org/list>

² siehe hierzu auch: <http://www.vci.de/default-cmd~shd~docnr~125022~lastDokNr~102474.htm>

Verfügung gestellt. Die Anmerkungen der Unternehmen wurden bei der weiteren Ausarbeitung des Leitfadens berücksichtigt. Parallel erfolgte eine Kommentierung des Leitfadens durch verschiedene Fachabteilungen des Umweltbundesamtes und durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

3 Notwendigkeit für einen Leitfaden zu nachhaltigen Chemikalien

Die Auswahl nachhaltiger Chemikalien hat als Konsequenz attraktive Vorteile für Arbeits-, Verbraucher- und Umweltschutz. Nachhaltigkeit führt mittelfristig zu innovativem Umgang mit Chemikalien und ist damit auch ökonomisch attraktiv. Das nachhaltigere Produkt ist hierbei jenes, das weniger Schadstoffe / weniger schädliche Umwelt- und Sozialauswirkungen hat, als sein Vorgängerprodukt. Es existieren bereits viele unterschiedliche konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeit in der Chemiebranche. Eine gute Übersicht hierzu ist im Positionspapier des Umweltbundesamtes zur Nachhaltigen Chemie veröffentlicht worden³.

Darüber hinaus existieren auch zahlreiche Beispiele für die Umsetzung einzelner Aspekte nachhaltiger Chemie in Unternehmen. Nicht verfügbar war bislang ein Leitfaden, der Unternehmen helfen kann, in einer systematischen Weise nachhaltige Chemie im Unternehmensalltag umzusetzen und die vorhandenen Konzepte mit Leben zu füllen.

Bedarf besteht insbesondere an konkreten stoffbezogenen Aussagen, was inhärent sichere Chemikalien sind und was nachhaltige Chemikalien sind. Hier soll der vorgelegte Leitfaden helfen. Er konzentriert sich auf die Beschreibung von Kriterien, die branchenübergreifend angewendet werden können.

Ergänzend wird im Leitfaden auf das HACCP-Konzept („Hazard Analysis and Critical Control Point“) hinweisen. Es wird zum Risikomanagement in Lieferketten z.B. im Bereich Nahrungsmittel eingesetzt wird. Es kann zur Schwerpunktsetzung im Risikomanagement auch in anderen Branchen verwendet werden⁴.

4 Zielgruppe

Der Leitfaden soll vor allem Formulierer und Endanwender (von Stoffen und Gemischen) unterstützen. Ihnen soll der Leitfaden helfen, verstärkt Nachhaltigkeitsaspekte in die Entscheidungen der Chemikalienauswahl einzubeziehen.

Anwender stellen einige technische Anforderungen, denen die von ihnen eingesetzten Produkte (Stoffe und Gemische) genügen müssen (z.B. Gleichmäßigkeit der mit einem Farbstoff erreichten Färbung, Lichtbeständigkeit eines Lackes u. a.). Zusätzlich bestehen Anforderungen aus dem Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutz. Aus der Berücksichtigung der Nachhaltigkeit können sich weitere Anforderungen ergeben, z.B. an die Einhaltung von Sozialstandards in den beteiligten Unternehmen der Lieferketten.

³ http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3734

⁴ siehe hierzu auch:

http://www.bfr.bund.de/cm/234/fragen_und_antworten_zum_hazard_analysis_and_critical_control_point__hac_cp__konzept.pdf

Es gibt Unternehmen, die selber schon ein ausgefeiltes Qualitätsmanagementsystem haben und bestrebt sind Gefahrstoffe zu substituieren. Gerade kleinere Formulierer und kleinere Verarbeiter von Gemischen haben aber keine oder nur wenig Erfahrung mit der Auswahl inhärent sicherer Chemikalien. Für diese Zielgruppen soll der Leitfaden Hilfestellungen geben.

5 Der Einbezug „neuer“ Themen

Für einzelne Gesichtspunkte (z.B. Vermeidung von Gefahrstoffen mit bestimmten humantoxischen Eigenschaften) können klare Entscheidungskriterien angegeben werden (z.B. Einstufung als krebserzeugend, mutagen, erbgutschädigend Kategorie 1, 2, 3).

Bei anderen Gesichtspunkten liegen solche Kriterien noch nicht vor, z.B. für den Ressourcenverbrauch, die CO₂-Freisetzung und die soziale Verantwortung der Unternehmen, die den Stoff bzw. das Gemisch herstellen.

Die Bewertung der Nachhaltigkeit von Chemikalien geht über die klassische Ermittlung der gefährlichen Eigenschaften, die Expositionsbewertung und die Risikocharakterisierung hinaus. Daher werden auch für diese „neuen“ Themen im Leitfaden Hilfestellungen gegeben – auch wenn dafür derzeit noch keine ausgereiften, quantifizierbaren Kriterien zur Verfügung stehen.

6 Der Aufbau des Leitfadens

Der Leitfaden besteht aus 5 Kapiteln und mehreren Anhängen. Die Kriterien für nachhaltige Chemikalien werden im Anschluss an diese Einführung im Kapitel 2 dargestellt. Hierbei wird unterschieden zwischen stoffbezogenen Kriterien, die nur vom Stoff abhängen, und anwendungsbezogenen Kriterien, die mit der Art der Verwendung des Stoffes zusammenhängen.

Bei der Auswahl der Kriterien wurden folgende Leitfragen angewendet:

- Welche Kriterien können Unternehmen selber bei der Auswahl von Stoffen und Gemischen anwenden?
- Welche Anforderungen können sie ihren Zulieferern als einzuhaltende stoffbezogene Kriterien an die Hand geben – über die Anforderungen z.B. des Blauen Engels hinaus?

Im Anschluss an die Beschreibung der Kriterien werden im Kapitel 3 zehn goldene Regeln zur Auswahl nachhaltiger Chemikalien vorgestellt. Sie greifen die oben entwickelten Kriterien auf und ergänzen sie. Dabei musste stark vereinfacht werden. Die goldenen Regeln beziehen sich auf den Schwerpunkt des Leitfadens: die Auswahl nachhaltiger Chemikalien, verbunden mit einigen wichtigen Regeln zu den Anwendungsbedingungen.

Im Kapitel 4 wird das Vorgehen anhand von zwei Beispielen erläutert und ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklung gegeben. Im Kapitel 5 wird die zugrunde liegende Literatur genannt. In den Anhängen werden Hinweise auf Stofflisten, Einzelkriterien, Datenbanken, Bewertungssysteme und Konventionen zum Arbeitnehmerschutz gegeben. Ein Abkürzungsverzeichnis befindet sich vor den Anhängen.

7 Das Ergebnis der Anwendung der Kriterien

Die Analyse der eingesetzten Chemikalien unter Nutzung der im Leitfaden vorgeschlagenen stoffbezogenen Kriterien liefert folgende Aussagen:

- In bestimmten Gebieten besteht kein Handlungsbedarf;
- In bestimmten Gebieten besteht Handlungsbedarf, da problematische Stoffeigenschaften vorliegen;
- In bestimmten Gebieten besteht hoher Handlungsbedarf, da sehr problematische Stoffeigenschaften im weiten Sinne vorliegen;
- In bestimmten Gebieten besteht Handlungsbedarf, da keine Informationen vorliegen.

Es werden nicht in allen Fällen Chemikalien zur Verfügung stehen, die keine problematischen Eigenschaften haben und daher von sich aus („inhärent“) sicher sind. Aber es kann sein, dass die Verwendung dieser Stoffe trotzdem nachhaltig gestaltet werden kann – z.B. durch besondere Maßnahmen zur Emissionsverringering. Leitfragen sind hierbei:

- Wie ist das Freisetzungspotenzial in der jeweiligen Verwendung?
- Welche Bevölkerungsgruppen werden exponiert?
- Wie kann die Exposition verringert werden?

Hinweise hierfür werden im Kapitel 2.2 des Leitfadens gegeben, das anwendungsbezogene Kriterien beschreibt.

8 Dokumentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projektes sind in diesem Endbericht und in den zugehörigen zwei Anhängen dokumentiert.

- Anhang 1 enthält den Leitfaden Nachhaltige Chemikalien. Dieser Leitfaden steht auch in englischer Übersetzung zur Verfügung.
- Anhang 2 enthält die Ergebnisse aus dem Arbeitsschritt 1, die Analyse bestehender Konzepte zur nachhaltigen Chemie.

Anhang 1: Der Leitfaden Nachhaltige Chemikalien

Der Leitfaden Nachhaltige Chemikalien liegt als eigenständiges Dokument vor.

Anhang 2: Die Dokumentation bestehender Konzepte nachhaltiger Chemie

1 Recherche und Analyse vorhandener Konzepte mit Kriterien für Nachhaltige Chemikalien

In diesem Abschnitt werden allgemeine Ansätze zu einer Nachhaltigen Chemikalienpolitik sowie vier vorhandene Konzepte für eine Nachhaltige Chemie vorgestellt. Bei der Beschreibung der Konzepte wird auf die nachfolgenden Gesichtspunkte eingegangen:

- Kurzcharakterisierung des Konzeptes: Aufbau und Ziele
- Schwerpunktsetzung: bezogen auf die Art des „Produktes“ (Stoffe, Gemische oder Erzeugnisse) und auf die Schutzgüter (Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutz)
- Adressat: Dies können industrielle Anwender, professionelle Anwender oder Verbraucher sein
- Angesprochene Abschnitte im Lebenszyklus: Rohstoffabbau bis zur Entsorgung
- Erforderliche Informationen
- Bezug zu den 12 Prinzipien von Anastas und Warner
- Bezug zu den fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß dem Umweltbundesamt
- Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien
- Verfügbarkeit von Beispielen.

Generelles Ziel der Nachhaltigen Chemikalienpolitik ist es, negative Wirkungen der Produktion chemischer Erzeugnisse, sowie ihrer Verarbeitung und Anwendung auf Mensch und Umwelt vermeiden zu helfen. Wenn Produkte und Verfahren weniger natürliche Ressourcen verbrauchen, führt dies zu Entlastungen für die Umwelt und gleichzeitig zu Kostenersparnissen für die Unternehmen.

Die existierenden Konzepte werden untereinander und mit den allgemeinen Kriterien der Nachhaltigen Chemie verglichen (siehe Tabelle 3). In einem abschließenden Analyseschritt wird im Arbeitsschritt 2 des Projektes zusammengestellt, welche Kriterien für eine nachhaltige Chemie sich aus den verschiedenen Ansätzen im Sinne einer Gesamtanforderung ermitteln lassen (siehe Anhang 1 des Endberichtes „Der Leitfaden Nachhaltige Chemikalien“).

1.1 Ansätze einer Nachhaltigen Chemiepolitik

Es gibt verschiedene Ansätze, welche Ziele sich eine Nachhaltige Chemiepolitik setzen muss. Bereits 1992 wurden acht Regeln zur Kontrolle von Prozessen und Produkten zum Schutz der Umwelt in *Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry* aufgestellt und veröffentlicht. Im Folgenden werden verschiedene Beispiele für solche Ansätze näher dargestellt.

1.1.1 Prinzipien von Anastas und Warner⁵

Das Leitbild der **nachhaltigen Gestaltung der industriellen Produktion** wurde für die chemische Industrie zu Beginn der neunziger Jahre u. a. in einem Programm der US EPA konkretisiert. Unter dem Titel „Green Chemistry“ veröffentlichte Paul Anastas im Jahr 1998 ein integriertes Konzept für eine Nachhaltige Chemie, dessen Inhalte und Ziele sich in 12 Prinzipien⁶ zusammenfassen lassen:

1. **Vorbeugung**

Es ist besser Abfälle zu vermeiden anstatt sie nach ihrer Entstehung zu verwerten oder zu behandeln.

2. **Atom Ökonomie**

Synthesemethoden sind so zu entwickeln, dass sich ein maximaler Anteil der Rohstoffe im Endprodukt wieder findet.

3. **Ungefährlichere Synthesen**

Synthesemethoden sind so zu entwickeln, dass nur Substanzen mit geringer oder gar keiner Toxizität oder Umweltgefährlichkeit eingesetzt und produziert werden.

4. **Entwicklung sicherer Chemikalien**

Chemische Produkte sind so zu entwickeln, dass bei gleicher Wirksamkeit oder Funktion ihre Toxizität verringert wird.

5. **Sicherere Lösungsmittel**

Der Einsatz von Hilfsstoffen (Lösemittel, Trennungsmittel, etc.) sollte möglichst vermieden werden, oder zumindest auf unschädliche Weise erfolgen.

6. **Effiziente Energienutzung**

Die Umweltauswirkungen und Kosten des Energieeinsatzes sollten berücksichtigt und minimiert werden. Synthesemethoden sollten für Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck entwickelt werden.

7. **Benutzung von nachwachsenden Rohstoffen**

Wenn technisch und wirtschaftlich möglich, sollten nachwachsende Rohstoffe anderen vorgezogen werden.

8. **Minimierung von Derivaten**

Unnötige Derivatisierung (Schutzgruppen, etc.) sollte so weit wie möglich vermieden werden.

9. **Katalyse**

Katalytische Reagenzien, die so selektiv wie möglich wirken, sind stöchiometrischen Reagenzien vorzuziehen.

⁵ Die originale englische Version der 12 Prinzipien der Grünen Chemie ist in der Anlage A-1 zu finden.

⁶ Übersetzung aus: Henseling, K. O. 2006): Kriterien Nachhaltiger Chemie; in Nachhaltige Chemie – Erfahrungen und Perspektiven, Michael Angrick, Klaus Kümmerer, Lothar Meinzer (Hg.), Marburg 2006, Metropolis Verlag für Ökonomie, Gesellschaft und Politik.

10. Biologische Abbaubarkeit

Chemische Produkte sind so zu entwickeln, dass sie nach ihrer Nutzung nicht in der Umwelt verbleiben, sondern zu unschädlichen Produkten abgebaut werden.

11. Echtzeitanalysen zur Reduktion von Schadstoffemissionen

Analytische Methoden für die Prozesskontrolle in Echtzeit sind zu entwickeln, um die Bildung gefährlicher Substanzen zu verhindern.

12. Von Natur aus sicherere Chemie zur Unfallvermeidung

Chemische Substanzen und ihre Anwendungsformen sind so auszuwählen, dass Unfallrisiken wie Freisetzung, Explosion oder Feuer minimiert werden.

1.1.2 Leitgedanken zum Stand der besten verfügbaren Technik (IVU Richtlinie, Anhang IV)

Auf europäischer Ebene bringen die 12 Leitgedanken zum Stand der besten verfügbaren Technik im Anhang IV der Richtlinie zur Integrierten Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (IVU Richtlinie⁷) den **Anspruch an eine Nachhaltige Produktion** – besonders auch für die Chemiebranche – zum Ausdruck.

1. Einsatz abfallarmer Technologien
2. Einsatz weniger gefährlicher Stoffe
3. Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle
4. Vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im industriellen Maßstab erprobt wurden
5. Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen
6. Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen
7. Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen
8. Für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit
9. Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz
10. Die Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern
11. Die Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für die Umwelt zu verringern
12. Die von der Kommission gemäß Artikel 16 Absatz 2 oder von internationalen Organisationen veröffentlichten Informationen

⁷ Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24.09.1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, ABI.EU Nr. L257 S.26 vom 10.10.1996.

1.2 Allgemeine Kriterien für eine Nachhaltige Chemie

Das Umweltbundesamt erarbeitete auf einem Workshop zur Nachhaltigen Chemie im Jahre 2004 zusammen mit der OECD vertiefte Kriterien für eine Nachhaltige Chemie aus:

Qualitative Entwicklung: ungefährliche Stoffe oder - wo dies nicht möglich ist - Stoffe mit geringer Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt einsetzen und ressourcenschonend produzierte sowie langlebige Produkte herstellen.

Quantitative Entwicklung: Verbrauch natürlicher Ressourcen verringern, die möglichst erneuerbar sein sollten; Emissionen oder Einträge von Chemikalien oder Schadstoffen in die Umwelt vermeiden oder – falls dieses nicht möglich sein sollte – diese verringern; solche Maßnahmen helfen, Kosten zu sparen;

Umfassende Lebenswegbetrachtung: Analyse von Rohstoffgewinnung, Herstellung, Weiterverarbeitung, Anwendung und Entsorgung von Chemikalien und ausgedienter Produkte, um den Ressourcen- und Energieverbrauch zu senken und gefährliche Stoffe zu vermeiden.

Aktion statt Reaktion: Bereits bei der Entwicklung und vor der Vermarktung von Chemikalien vermeiden, dass diese während ihres Lebenswegs Umwelt und menschliche Gesundheit gefährden und die Umwelt als Quelle oder Senke überbeanspruchen; Schadenskosten und damit wirtschaftliche Risiken der Unternehmen und Sanierungskosten für den Staat vermindern.

Wirtschaftliche Innovation: Nachhaltige Chemikalien, Produkte und Produktionsweisen schaffen Vertrauen bei industriellen Anwender, privaten Konsumentinnen und Konsumenten, sowie staatlichen Kunden und erschließen damit Wettbewerbsvorteile.

Daraus leitete das Umweltbundesamt allgemeine Ziele für eine Nachhaltige Chemie ab, die im Kapitel 1.5 beschrieben werden. Zu ihnen gehören:

- Schädliche Emissionen in Gewässern, Böden Innenraum und in die Atmosphäre vermeiden oder verringern und
- Ressourcen in Form von Materialien und Energie in geringst möglichem Umfang beanspruchen.

1.3 Short Range Chemicals

1.3.1 Kurzcharakterisierung

Das Konzept der Short Range Chemicals⁸ wurde 1999 von Martin Scheringer entwickelt.

Bei diesem Konzept der „Chemie der kurzen räumlichen und zeitlichen Reichweite“ werden die *Persistenz* (zeitliche Verweildauer) und die *räumliche Verteilung* (Ferntransportpotenzial) eines Stoffes als Maße für dessen Umweltgefährdung herangezogen. Das Konzept stellt

⁸ Scheringer, M. (1999): Persistenz und Reichweite von Umweltchemikalien. Wiley-VCH, Weinheim.

eine mögliche Leitlinie für die künftige Entwicklung chemischer Produkte dar und kann gleichzeitig als Ansatz zur Chemikalienbewertung angesehen werden.

In der Regel werden bei der Risikobewertung von Stoffen drei aufeinanderfolgende Schritte unterschieden. Im ersten Schritt erfolgt die Beurteilung der gefährlichen Eigenschaften des Stoffes („hazard assessment“). Diese Bewertung bezieht sich auf die gefährlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften, auf die gefährlichen Eigenschaften für den Menschen und auf die gefährlichen Eigenschaften für die Umwelt. Im zweiten Schritt, der Beschreibung der Exposition („exposure assessment“), erfolgt eine quantitative oder qualitative Abschätzung der Dosis bzw. der Konzentration, gegenüber der Mensch und Umwelt exponiert sind oder sein können. Hierbei wird der gesamte Lebenszyklus des Stoffes einbezogen.

Im abschließenden Schritt der Risikobeschreibung („risk characterisation“) werden die ermittelten Expositionshöhen verglichen mit den Konzentrations- bzw. Dosiswerten, bei denen keine schädlichen Effekte mehr zu erwarten sind⁹.

Im Gegensatz dazu erfolgt im Konzept der Short Range Chemicals keine Beschreibung von Expositionssituationen und auch keine Risikobeschreibung. Es findet vielmehr eine Stoffbeurteilung allein aufgrund der dem Stoff innewohnenden (inhärenten) Eigenschaften statt.

Die Charakterisierung der physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften und des Umweltverhaltens führt im Konzept der Short Range Chemicals zu den Endpunkten Persistenz und räumliche Verteilung. Die Bewertung dieser Endpunkte geschieht in zwei Schritten: Zunächst erfolgt eine Stoffauswahl aufgrund der Eigenschaften Persistenz und räumliche Verteilung (Expositions-basierte Bewertung). Im zweiten Schritt wird diese Stoffauswahl durch eine wirkungs-basierte Risikoabschätzung gestützt und verfeinert (Effekt-basierte Bewertung).

Schritt 1, die Expositions-basierte Bewertung. Dieser Schritt hat zwei Ziele:

- Die Identifizierung und Ausschluss von Chemikalien, die Langzeitexposition und weiträumige Expositionen verursachen (z.B. chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKWs));
- Die Identifizierung von nicht-persistenten Chemikalien mit geringer räumlicher Reichweite.

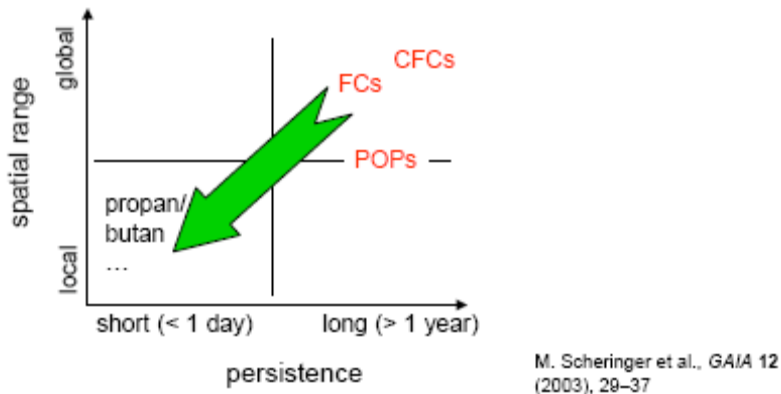
Die Expositions-basierte Bewertung identifiziert Stoffe mit großer räumlicher Verteilung und/oder hoher Persistenz, d.h. Stoffe mit problematischem Expositionsverhalten (siehe Abbildung 1).

Wenn solche Stoffe in der Umwelt zu Wirkungen (Effekten) führen, ist dies besonders schwerwiegend, weil die Wirkungen weiträumig und langfristig auftreten. Stoffe mit hoher Persistenz und großer räumlicher Verteilung sollten also allein aufgrund dieser

⁹ Anmerkung: im Falle von persistenten und bioakkumulierenden Stoffen kann dieser quantitative Bewertungsansatz nicht angewendet werden, hier ist eine qualitative Bewertung erforderlich

Eigenschaften nicht verwendet werden oder durch Alternativen mit geringerer räumlicher Verteilung sowie Persistenz ersetzt werden.

Abbildung 1: Die Expositions-basierte Gefährdungsabschätzung im Rahmen des Konzepts der „short range chemicals“. Quelle: Scheringer et al. 2003.



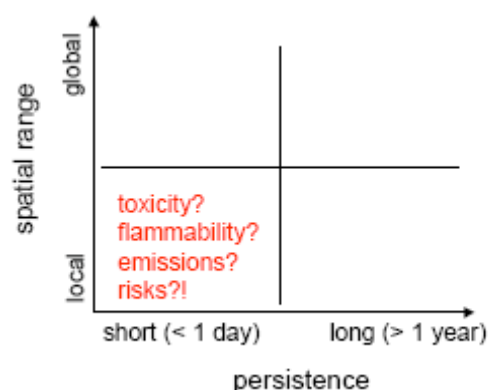
Die Expositions-basierte Bewertung bewertet nicht die inhärente Sicherheit eines Stoffes. Dies bedeutet auch, dass die Expositions-basierte Bewertung in keinem Fall zur Aussage führt, Stoffe mit niedriger Persistenz und geringerer räumlicher Verteilung seien harmlos. Vielmehr werden hier bereits Stoffe ausgeschlossen, die eine hohe räumliche und zeitliche Reichweite besitzen. Im nachfolgenden zweiten Schritt werden dann die Substanzen mit unproblematischem Expositionsverhalten auf ihre toxischen Eigenschaften hin untersucht.

Schritt 2: Die Effekt-basierte Gefährdungs- und Risikoabschätzung. Dieser Schritt hat folgende Ziele:

- Die Identifizierung von Chemikalien mit niedriger Toxizität, Entflammbarkeit, etc. ausgehend von der Auswahl aus Schritt 1;
- Die Charakterisierung des Risikos auf lokaler Ebene durch Bildung des Risikoquotienten PEC/PNEC und
- die Entwicklung von Standards für Arbeitsschutz und den lokalen Umweltschutz.

Das Konzept der Short Range Chemicals ermittelt in diesem zweiten Schritt (siehe Abbildung 2) das Wirkungspotential (Risiko) eines Stoffes. Ziel dieser Bewertung ist es, unter den Stoffen mit geringer räumlicher Verteilung diejenigen mit dem geringsten Potential für schädliche Wirkungen zu identifizieren.

Abbildung 2: Die Effekt-basierte Gefährdungs- und Risikoabschätzung im Rahmen des Konzepts der „short range chemicals“. Quelle: Scheringer et al. 2003.



Die Analyse des Konzept der Short Range Chemicals:

Der Fokus auf die inhärenten Stoffeigenschaften Persistenz und räumliche Verteilung sowie auf eine Stoffauswahl durch Effekt-basierte Risikoabschätzung ermöglicht – im Gegensatz zu einer Stoffbewertung, die in erster Linie risikoorientiert ist – eine vorsorgeorientierte Chemiewirtschaft. Ziel ist es, dass unvorhersehbare Entwicklungen mit großem Schadenspotential vermieden werden.

Eine Expositions-basierte Stoff-Bewertung zielt vor allem auf die Erkennung weiträumiger und langfristiger Expositionen. Die durch zeitliche Verweildauer und Ferntransportpotenzial möglichen Ereignisse und ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten sind hier nicht bekannt und können auch nicht ermittelt werden. Daher stützt sich das Konzept der Short Range Chemicals auch nicht auf eine kalkulierbare risikoorientierte Bewertung als Grundlage für die Gesamtbetrachtung. Im Bereich hoher Reichweiten und Persistenzen ist somit eine vorsorgeorientierte Chemiewirtschaft sinnvoll, d.h. wenn ein Stoff bei der expositions-basierten Bewertung eine hohe Persistenz und Reichweite aufweist, sollten allein aufgrund dieses Befundes Alternativen mit geringerer Persistenz und Reichweite gesucht werden.

Demgegenüber stützt sich das Konzept der Short Range Chemicals dann auf eine kalkulierbare Effekt-basierte, risikoorientierte Bewertung als Grundlage für die Gesamtbetrachtung, wenn im ersten Schritt gezeigt wurde, dass der Stoff eine niedrige Persistenz und eine geringe räumliche Verteilung aufweist. In dem zweiten, Effekt-basierten Schritt werden die Wirkungen der Substanzen so verlässlich wie möglich charakterisiert. Dies ermöglicht es dem Anwender problematische Wirkungen, mögliche Schutzmaßnahmen (Arbeitsschutz und lokaler Umweltschutz) und den Aufwand für Alternativen mit anderen Stoffen sowie den Nutzen des Chemikalieneinsatzes gegeneinander abzuwiegen.

1.3.2 Schwerpunktsetzung

Das Konzept der Short Range Chemicals bezieht sich auf Einzelstoffe (Chemikalien) und hat die Umwelt als primäres Schutzziel. In einem zweiten Bewertungsschritt erfolgt die Effekt-basierte Gefährdungs- und Risikoabschätzung. An deren Ende werden Chemikalien mit niedriger Toxizität, Entflammbarkeit, etc. identifiziert und für die weitere Verwendung

ausgewählt. Dadurch hat das Konzept auch eine positive Wirkung auf den Arbeitsschutz und die menschliche Gesundheit allgemein sowie den Verbraucherschutz im Besonderen.

1.3.3 Adressat

Das Leitbild des Konzepts der Short Range Chemicals lässt sich wie folgt zusammenfassen: Verwendung von Chemikalien mit niedriger Persistenz und geringer räumlicher Reichweite in möglichst vielen technischen Anwendungen, um

- globale Kontaminationsprobleme der Umwelt zu vermeiden und
- lokale Risiken durch Chemikalien für Mensch und Umwelt mit bekannten gefährlichen Eigenschaften wie Entflammbarkeit oder Toxizität zu verringern.

Lokale Risiken können leichter beherrscht werden als globale Kontaminationen:

- Anwender von Chemikalien und exponierte Populationen teilen den kulturellen, politischen, ökonomischen und institutionellen Hintergrund: Dadurch können sie leichter miteinander in Kontakt treten und konsensfähige Lösungen aushandeln als bei globalen Problemen, die sich über viele und sehr verschiedene kulturelle, rechtliche, politische und ökonomische Kontexte erstrecken.

Daraus lässt sich ableiten, dass das Konzept der Short Range Chemicals die Produzenten sowie die industriellen und professionellen Anwender von Chemikalien adressiert. Ziel ist, Expositionen von Verbrauchern und Umwelt mit persistenten und sich weiträumig verteilenden Stoffen zu vermeiden.

Das Konzept der Short Range Chemicals unterstützt eine verstärkte Kommunikation und Kooperation zwischen den Akteuren – Hersteller, Zulieferer, Kunden – indem es den Bezug zum lokalen Umfeld betont.

1.3.4 Angesprochene Abschnitte im Lebenszyklus

Das Konzept der Short Range Chemicals ist als Leitlinie für die künftige Entwicklung chemischer Stoffe zu verstehen und gleichzeitig ein Ansatz zur Chemikalienbewertung. Das Konzept geht nicht direkt auf einzelne Abschnitte im Lebenszyklus eines Stoffes ein. Es sind alle Abschnitte von Bedeutung, in denen es zur Freisetzung von Stoffen kommen kann.

1.3.5 Erforderliche Informationen für die Abschnitte im Lebenszyklus, die angesprochen werden

Für die Anwendung des Konzepts der Short Range Chemicals, bzw. der Abschätzung der (Gesamt-) Persistenz und der räumlichen Reichweite einer Chemikalie, sind ausschließlich Informationen über substanzspezifische (= intrinsische) Eigenschaften erforderlich.

So sind z.B. die folgenden Eingabeparameter notwendig, um mit Hilfe des „*OECD P_{OV} and LRTP Screening Tool, Version 2.1*“¹⁰ die Persistenz und das Ferntransportpotential (räumliche Reichweite) eines Stoffes abzuschätzen:

- log Kaw: Luft/Wasser-Verteilungskoeffizient
- log Kow: Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient
- Abbaualtwertezeiten in Luft, Wasser und Boden (in Stunden)

Als Kriterien zur Identifizierung von Short Range Chemicals schlagen Scheringer et al. (2006) eine (Gesamt-) Persistenz von < 90 Tagen sowie ein Ferntransportpotential (LRTP) / Characteristic Travel Distance (CTD) von < 500 km vor.

Weitere detaillierte Angaben zur Berechnungsmethodik sind im *Manual* (Handbuch) des *OECD P_{OV} and LRTP Screening Tools* enthalten.

1.3.6 Bezug zu den 12 Prinzipien von Anastas und Warner

Generell lässt sich sagen, dass sich die Prinzipien von Anastas und Warner in erster Linie auf eine nachhaltige Produktion und Verarbeitung von Chemikalien und Produkten beziehen, wogegen das Konzept der Short Range Chemicals primär auf die Entwicklung und Verwendung von nachhaltigen Chemikalien ausgerichtet ist.

Dennoch lassen sich einige der Prinzipien von Anastas und Warner zumindest ansatzweise im Konzept der Short Range Chemicals wiederfinden:

Prinzip 1. Vorbeugung: Es ist besser Abfälle zu vermeiden anstatt sie nach ihrer Entstehung zu verwerten oder zu behandeln.

Die expositionsgestützte Bewertung von Chemikalien aufgrund ihrer Persistenz und ihres Ferntransportpotentials, wie sie im Short Range Chemicals Konzept vorgeschlagen ist, ist eine vorsorgeorientierte, vorbeugende Chemiewirtschaft. Ziel ist, langfristige und weiträumige Expositionen von Mensch und Umwelt von vornherein zu vermeiden.

Prinzip 4. Entwicklung sicherer Chemikalien: Chemische Produkte sind so zu entwickeln, dass bei gleicher Wirksamkeit oder Funktion ihre Toxizität verringert wird.

Nach der Identifizierung von nicht-persistenten Chemikalien mit geringer räumlicher Reichweite zielt das Konzept der Short Range Chemicals in einem zweiten Schritt darauf, Chemikalien mit niedriger Toxizität, Entflammbarkeit, etc. – also insgesamt sichererer Chemikalien – zu identifizieren und bzw. zu entwickeln.

Prinzip 10. Biologische Abbaubarkeit: Chemische Produkte sind so zu entwickeln, dass sie nach ihrer Nutzung nicht in der Umwelt verbleiben, sondern zu unschädlichen Produkten abgebaut werden.

¹⁰ The OECD POV and LRTP Screening Tool, Version 2.1; Release date: May 2008; Manual prepared by Martin Scheringer, Matthew MacLeod, Fabio Wegmann, ETH Zürich for the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).

Dieses Prinzip entspricht der Forderung des Konzepts der Short Range Chemicals nach nicht-persistenten Chemikalien (mit geringer räumlicher Reichweite).

1.3.7 Bezug zu den fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß Umweltbundesamt

Aus der Zielsetzung des Konzeptes der Short Range Chemicals ergeben sich Verbindungen zu den folgenden generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie, die vom Umweltbundesamt erarbeitet wurden (die Numerierung entspricht der Anordnung in Kapitel 1.2):

(1) Qualitative Entwicklung: ungefährliche Stoffe oder - wo dies nicht möglich ist - Stoffe mit geringer Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt einsetzen und ressourcenschonend produzierte sowie langlebige Produkte herstellen.

Das Konzept der Short Range Chemicals ermöglicht die Identifikation von Stoffen, die sich durch eine geringen Reichweite und ein geringes Risiko für Mensch und Umwelt auszeichnen.

(2) Quantitative Entwicklung: Verbrauch natürlicher Ressourcen verringern, die möglichst erneuerbar sein sollten; Emissionen oder Einträge von Chemikalien oder Schadstoffen in die Umwelt vermeiden oder – falls dieses nicht möglich sein sollte – diese verringern; solche Maßnahmen helfen, Kosten zu sparen.

Ein wesentliches Ziel des Konzeptes der Short Range Chemicals ist es, die Emission von Stoffen zu vermeiden, die weiträumige und lang anhaltende Belastungen von Mensch und Umwelt verursachen würden.

(4) Aktion statt Reaktion: Bereits bei der Entwicklung und vor der Vermarktung von Chemikalien vermeiden, dass diese während ihres Lebenswegs Umwelt und menschliche Gesundheit gefährden und die Umwelt als Quelle oder Senke überbeanspruchen; Schadenskosten und damit wirtschaftliche Risiken der Unternehmen und Sanierungskosten für den Staat vermindern. gemäß Umweltbundesamt.

Das Konzept der Short Range Chemicals kann schon bei der Entwicklung neuer Stoffe und Gemische eingesetzt werden, um nachhaltige Stoffe zu identifizieren und einzusetzen.

(5) Wirtschaftliche Innovation: Nachhaltige Chemikalien, Produkte und Produktionsweisen schaffen Vertrauen bei industriellen Anwender, privaten Konsumentinnen und Konsumenten, sowie staatlichen Kunden und erschließen damit Wettbewerbsvorteile.

Das Konzept der Short Range Chemicals kann dazu beitragen, die Emission von Stoffen zu vermeiden, die weiträumige und lang anhaltende Belastungen von Mensch und Umwelt verursachen würden. Dadurch werden aufwendige Risikomanagement-Maßnahmen bzw. aufwendige Sanierungsmaßnahmen vermieden. Niedrigere stoffbedingte Risiken können dadurch auch Wettbewerbsvorteile darstellen und Vertrauen schaffen.

1.3.8 Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien

Das Konzept der Short Range Chemicals beinhaltet die Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien.

1.3.9 Verfügbarkeit von Beispielen (mit Verweis, ggf. Dokumentation in Anhang)

Von Martin Scheringer ist ein Excel-basiertes Berechnungsinstrument entwickelt worden, mit dem die Persistenz eines Stoffes und sein Ferntransportpotenzial berechnet werden können¹¹. In dem von der OECD veröffentlichten Instrument sind zahlreiche Stoffbeispiele enthalten¹².

1.3.10 Referenzen

- Scheringer, M. (1999): Persistenz und Reichweite von Umweltchemikalien; Wiley-VCH.
- Scheringer, M. (2007): Chemicals with low persistence and spatial range – a contribution to sustainable chemistry; EU Workshop “Sustainable Chemistry 2007”, Berlin 15 May 2007.
- Scheringer, M. et al. (2006): Persistence criteria in the REACH Legislation: Critical evaluation and recommendations
- OECD 2008: OECD POV and LRTP Screening Tool, Version 2.1; Release date: May 2008; Manual prepared by Martin Scheringer, Matthew MacLeod, Fabio Wegmann, ETH Zürich for the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (Von der folgenden Seite kann das excel-Instrument herunter geladen werden: http://www.oecd.org/LongAbstract/0,3425,en_2649_34373_40718985_119669_1_1_1,00.html).

1.4 Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe

1.4.1 Kurzcharakterisierung

Das Einfache Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe (EMKG) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA) ist eine Handlungsanleitung zur Gefährdungsabschätzung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen am Arbeitsplatz. Das EMKG beschreibt, wie vor Aufnahme von Tätigkeiten mit Gefahrstoffen eine Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden kann, die Gefährdungen durch Einatmen (inhalativ) und durch Hautkontakt (dermal) von Gefahrstoffen berücksichtigt¹³.

¹¹ OECD POV and LRTP Screening Tool, Version 2.1; Release date: May 2008; Manual prepared by Martin Scheringer, Matthew MacLeod, Fabio Wegmann, ETH Zürich for the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

¹² http://www.oecd.org/LongAbstract/0,3425,en_2649_34373_40718985_119669_1_1_1,00.html

¹³ Das EMKG ist ein Instrument, das Unternehmen beim betrieblichen Arbeitsschutz unterstützen kann. Es geht nicht auf den betrieblichen Umweltschutz ein.

Das Einfache Maßnahmenkonzept gründet auf einem schrittweisen Vorgehen. Es werden Informationen benötigt, die entweder im Unternehmen selbst erfasst werden (z.B. Einsatzmengen), oder die in den dort vorhandenen Sicherheitsdatenblättern enthalten sind.

Das EMKG sieht 3 Schutzstufen vor. Je höher das Gefährdungspotenzial einer Anwendung ist, desto höher ist die anzuwendende Schutzstufe.

Basierend auf der Einstufung des verwendeten chemischen Stoffes (R-Sätze oder H-Sätze)¹⁴ bzw. – falls vorhanden – den Arbeitsplatzgrenzwerten¹⁵, wird der Stoff verschiedenen Gefährlichkeitsgruppen zugeordnet.

Anschließend wird der Stoff zur Ermittlung des Maßnahmenbedarfs bei **Gefährdungen durch Einatmen** nach den folgenden Aspekten zugeordnet:

- gehandhabte Menge,
- Tätigkeitsdauer,
- Freisetzungsverhalten verschiedener Mengengruppen, bzw. Freisetzungsguppen.

Wenn bei der Tätigkeit ein **Hautkontakt mit dem Gefahrstoff möglich** ist, werden zusätzlich ermittelt:

- Wirkfläche des Hautkontakts und
- Wirkdauer des Hautkontakts.

Je nach Zuordnung zu den verschiedenen Gefährlichkeits-, Mengen- und Freisetzungsguppen wird anhand vorgegebener Entscheidungstabellen dann der Maßnahmenbedarf für die Gestaltung des Arbeitsverfahrens abgeschätzt. Die Maßnahmenempfehlung beschreibt, welche Reihe von existierenden Schutzleitfäden¹⁶ für die beurteilte Situation umzusetzen ist. Daneben soll der mögliche Einsatz von weniger gefährlichen Ersatzlösungen geprüft werden. Dies hat zum Ziel, durch den Einsatz von Produkten oder Verfahren mit geringerem Risiko, unnötige Aufwendungen für technische, organisatorische und personenbezogene Schutzmaßnahmen zu vermeiden.

Die Gefährdungsbeurteilung ist abgeschlossen, wenn Ersatzlösungen geprüft, die erforderlichen betrieblichen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten und Dritter sowie das Verfahren zur Wirksamkeitsüberprüfung festgelegt sind. Im EMKG werden auch Vorschläge

¹⁴ Am 20. Januar 2009 trat die Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen in Kraft (sie wird abgekürzt „CLP-Verordnung“ genannt). Sie führt ein neues Einstufungs- und Kennzeichnungssystem ein. In der CLP-Verordnung werden die R-Sätze der Richtlinie RL 67/548/EWG durch die sog. H-Sätze (Hazard statements) ersetzt, auf der Grundlage der Umwandlungstabelle des Anhangs VII der CLP-Verordnung. Im EMKG können sowohl die R-Sätze als auch die H-Sätze verwendet werden. Hierzu hat die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin im September 2009 ein Merkblatt veröffentlicht (http://www.baua.de/nr_18306/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/EMKG/pdf/EMKG-Modul.pdf).

¹⁵ Zu Definition und Aufstellung von Arbeitsplatzgrenzwerten siehe: http://www.baua.de/nr_18392/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Tagungen/GefstoffV-Tagung/pdf/Vortrag-25.pdf

¹⁶ Die Schutzleitfäden beschreiben typische, im Alltag eines Chemiebetriebes wiederkehrenden Arbeitsabläufe wie z. B. Abwiegen und Umfüllen. Sie geben eine praktische Hilfe, wie die Gefährdung der Beschäftigten vermieden oder auf ein Minimum reduziert werden kann.

gemacht, wie Ersatzlösungen gefunden werden können (siehe EMKG 2008, S.26). Eine Möglichkeit besteht in der Anwendung von EMKG auf mögliche Ersatzstoffe und ein Vergleich, für welchen Stoff einfachere Risikomanagement-Maßnahmen ausreichen. Eine andere Möglichkeit besteht in der Anwendung des Spaltenmodells, das in der Technischen Regel Gefahrstoffe (TRGS) 600 beschrieben ist (TRGS 600)..

1.4.2 Schwerpunktsetzung

Das EMKG unterscheidet zwischen Einzelstoffen und Zubereitungen (Gemischen). Es dient ausschließlich dem Arbeitsschutz und gilt vor allem für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, die mit den Gefahrensymbolen für die Gefahrenbezeichnung reizend (Xi), gesundheitsschädlich (Xn), ätzend (C), giftig (T) oder sehr giftig (T+) bzw. den entsprechenden Gefahrenpiktogrammen der CLP-Verordnung gekennzeichnet sind (siehe hierzu Fußnote 8).

1.4.3 Adressat

Das EMKG richtet sich an fachkundige Personen oder sicherheitstechnische und arbeitsmedizinische Dienste für die Gefährdungsbeurteilung, insbesondere in Klein- und Mittelbetrieben. Daneben wendet es sich an Sicherheitsfachkräfte, Betriebsärzte und überbetriebliche Beratungsdienste.

1.4.4 Angesprochene Abschnitte im Lebenszyklus

Das EMKG behandelt nur die Anwendungsphase, d.h. die Tätigkeit mit Gefahrstoffen am Arbeitsplatz.

1.4.5 Erforderliche Informationen für die Abschnitte im Lebenszyklus, die angesprochen werden

Die Beurteilung der Gefährdung durch Einatmen und Hautkontakte für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen erfolgt auf Grundlage der folgenden Gefährdungsparameter:

- Gefahrensymbole
- Einstufung des Gefahrstoffes (R-Sätze (EG Richtlinie 67/548/EWG) oder H – Sätze (CLP-Verordnung))
- Arbeitsplatzgrenzwerte des Gefahrstoffs
- Angaben zum Freisetzungsvermögen (z.B. Siedepunkt, Staubungsverhalten, Anwendungstemperatur)
- Angaben zu den verwendeten Mengen
- Angaben zu Art und Umfang eines möglichen Hautkontaktes

Die wichtigsten Informationsquellen für diese Parameter bzw. für die Gefährdungsabschätzung sind das Kennzeichnungsetikett auf der Verpackung des Stoffes sowie das vom Hersteller zur Verfügung gestellte Sicherheitsdatenblatt (SDB).

Anhand dieser Gefährdungsparameter wird dann anhand der im EMKG vorgegebenen Entscheidungstabellen der Maßnahmebedarf für die Gestaltung des Arbeitsverfahrens abgeschätzt. Die Maßnahmeempfehlung beschreibt, welche Reihe von Schutzleitfäden für die beurteilte Tätigkeit umzusetzen ist. Diese Schutzleitfäden beschreiben wiederum Modelllösungen im Sinne einer guten Praxis bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen.

1.4.6 Bezug zu den 12 Prinzipien von Anastas und Warner

Wie bereits unter Punkt 1.3.6 angemerkt, beziehen sich die Prinzipien von Anastas und Warner in erster Linie auf eine nachhaltige Produktion und Verarbeitung von Chemikalien und Produkten. Das EMKG hat dagegen den Arbeitsschutz als Ziel und verfolgt die sichere Anwendung von Gefahrstoffen.

Dennoch lassen sich einige der Prinzipien von Anastas und Warner zumindest ansatzweise im EMKG wiederfinden:

Prinzip 1. Vorbeugung: Es ist besser Abfälle zu vermeiden anstatt sie nach ihrer Entstehung zu verwerten oder zu behandeln.

Das EMKG enthält zwar keine Maßnahmen zur Abfallvermeidung, entspricht aber durchaus dem Prinzip der Vorbeugung – nämlich Vorbeugung vor Gefährdungen durch Einatmen und durch Hautkontakt.

Prinzip 4. Entwicklung sicherer Chemikalien: Chemische Produkte sind so zu entwickeln, dass bei gleicher Wirksamkeit oder Funktion ihre Toxizität verringert wird. Das EMKG spricht sich nicht unmittelbar für die Entwicklung von sicheren Chemikalien aus, sondern gibt Maßnahmenempfehlungen für den sicheren Umgang mit Gefahrstoffen. Je sicherer, d.h. je weniger toxisch eine Chemikalie ist, desto weniger Schutzmaßnahmen sind für einen sicheren Umgang mit Chemikalien erforderlich.

Prinzip 12. Von Natur aus sicherere Chemie zur Unfallvermeidung: Chemische Substanzen und ihre Anwendungsformen sind so auszuwählen, dass Unfallrisiken wie Freisetzung, Explosion oder Feuer minimiert werden.

Dieses Prinzip entspricht dem Ansatz des EMKG, je nach Zuordnung der Gefahrstoffe in verschiedenen Gefährdungsklassen entsprechende Maßnahmenempfehlungen für den sicheren Umgang auszuwählen, um so Unfallrisiken für die Arbeiter zu vermeiden.

1.4.7 Bezug zu den fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß Umweltbundesamt

Das EMKG weist Bezüge zu mehreren der generellen Prinzipien auf, die vom Umweltbundesamt für eine nachhaltige Chemie aufgestellt wurden (siehe Kapitel 1.2):

(1) Qualitative Entwicklung: ungefährliche Stoffe oder - wo dies nicht möglich ist - Stoffe mit geringer Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt einsetzen und ressourcenschonend produzierte sowie langlebige Produkte herstellen.

Das EMKG fördert gezielt die Suche nach weniger gefährlichen Ersatzstoffen. .

(2) Quantitative Entwicklung: Verbrauch natürlicher Ressourcen verringern, die möglichst erneuerbar sein sollten; Emissionen oder Einträge von Chemikalien oder Schadstoffen in die Umwelt vermeiden oder – falls dieses nicht möglich sein sollte – diese verringern; solche Maßnahmen helfen, Kosten zu sparen.

Das EMKG ermöglicht die Auswahl emissionsarmer Stoffe und Prozesse und den Einsatz von Risikomanagement-Maßnahmen, durch den Emissionen verringert werden.

(4) Aktion statt Reaktion: Bereits bei der Entwicklung und vor der Vermarktung von Chemikalien vermeiden, dass diese während ihres Lebenswegs Umwelt und menschliche Gesundheit gefährden und die Umwelt als Quelle oder Senke überbeanspruchen; Schadenskosten und damit wirtschaftliche Risiken der Unternehmen und Sanierungskosten für den Staat vermindern. gemäß Umweltbundesamt.

Das EMKG empfiehlt Maßnahmen für den sicheren Umgang mit Gefahrstoffen und fördert dadurch das Ziel, Gefährdungen von Mensch und Umwelt zu vermeiden.

(5) Wirtschaftliche Innovation: Nachhaltige Chemikalien, Produkte und Produktionsweisen schaffen Vertrauen bei industriellen Anwender, privaten Konsumentinnen und Konsumenten, sowie staatlichen Kunden und erschließen damit Wettbewerbsvorteile.

DAS EMKG unterstützt die Auswahl passender Risiko-verringender Maßnahmen und den Einsatz weniger gefährlicher Stoffe. Dadurch werden aufwendige Risikomanagement-Maßnahmen bzw. aufwendige Sanierungsmaßnahmen vermieden. Niedrigere stoffbedingte Risiken können so Wettbewerbsvorteile darstellen und Vertrauen schaffen.

1.4.8 Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien

Das EMKG bezieht sich ausschließlich auf den Umgang mit Gefahrstoffen und beschäftigt sich daher mit „inhärent nicht sicheren Chemikalien“.

Allerdings lässt sich folgern, dass für den Umgang mit inhärent sicheren Chemikalien, die keiner Gefahreinstufung bedürfen, nur einfache Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen ausreichen, um den risikofreien Umgang der Beschäftigten mit den Chemikalien sicherzustellen. Durch den Einsatz von inhärent sicheren Chemikalien kann der Arbeitsschutz auch in klein- und mittelständigen Unternehmen gewährleistet werden. Zwar kann man das Risiko gefährlicher Stoffe auch durch aufwändigere Expositionsminderungsmaßnahmen reduzieren, aber in der Realität haben kleine und mittlere Unternehmen erhebliche Schwierigkeiten, dies in der täglichen Praxis umzusetzen.

1.4.9 Verfügbarkeit von Beispiele

Von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin sind mehrere Beispiele für die Anwendung des EMKG ausgearbeitet worden¹⁷. In der nachfolgenden Tabelle ist eine Gefährdungsabschätzung für Xylol aufgeführt.

¹⁷ siehe z.B.:

- http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/EMKG/EMKG_content.html
- http://www.baua.de/nn_18306/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/EMKG/pdf/EMKG-Praxisbeispiel-03.pdf

Tabelle 1 Beispiel für eine Gefährdungsabschätzung mittels EMKG (hier: Xylol)¹⁸

Spalte		Gefährdungsabschätzung mittels EMKG
Gefahrstoff		Xylol
Gefahrensymbol / Kennbuchstabe		Xn
Schutzstufe		2
Einstufung Gefährlichkeits- gruppe (GG)	R-Sätze	10-20/21-38
	AGW	100 ppm
	GG (Einatmen)	A (ermittelte Gefährlichkeitsgruppe für die Gefährdung gemäß Tab. 1b, Seite 17)
Tätigkeit	Art	Umfüllen (Tätigkeit, die mit dem EMKG beurteilt wird)
	Mengengruppe	mittel (ermittelte Mengengruppe gemäß Tabelle auf Seite 18) ¹⁹
	Dauer	Dauer der Tätigkeit
Freisetzung	fest / flüssig Siedepunkt	flüssig (Aggregatzustand des Gefahrstoffes während der Tätigkeit) 135°C (Siedepunkt als sicherheitstechnische Kenngröße des Stoffes, siehe SDB)
	Temperatur	Raumtemperatur (Anwendungstemperatur während der zu beurteilenden Tätigkeitsdauer)
	Freisetzungs- gruppe	mittel (ermittelte Gruppe gemäß Tab. auf S. 19)
Schutzmaßnahmen	Einatmen	Reihe 100 = Maßnahmen der Schutzstufe 1 = Schutzleitfäden 1xx und Grundmaßnahmen sowie organisatorische Maßnahmen der Schutzstufe 2 (Ergebnis gemäß Entscheidungstabelle, Abb. 4-1, Seite 21 und Schutzstufe nach GefStoffV, Seite 25)
Hautkontakt Gefährlichkeits- gruppe (GG)	GG (Haut)	HC (ermittelte Gefährlichkeitsgruppe für die Hautgefährdung gemäß Tabelle Seite 29)
	Wirkfläche	klein (Wirkmenge gemäß Tabelle auf Seite 30)
	Wirkdauer	lang (Wirkdauer gemäß Tabelle auf Seite 30)
Schutzmaßnahmen	Hautkontakt	erweiterter Maßnahmenbedarf (Ergebnis gemäß Entscheidungstabelle Abb. 7-1, S. 33)
Wirksamkeitsüberprüfung		Das EMKG ist ein gleichwertiges Beurteilungsverfahren, wenn anstatt der Gefährlichkeitsgruppe A die Gefährlichkeitsgruppe B gewählt wird. <ul style="list-style-type: none"> • Umsetzen und dokumentieren der Schutzmaßnahmen: Schutzleitfäden der Reihe 100, Schutzleitfäden 200: Örtliche Absaugung • Überprüfung lüftungstechnischer und technologischer Parameter • Überprüfung der Umsetzung der Hautschutzmaßnahmen (Ergebnis der Zuordnung auf Seite 35)

¹⁸ Quelle: BAUA (2008): Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe EMKG Version 2.1 und Schutzleitfäden;¹⁹ Die Seitenzahlen beziehen sich jeweils auf das Dokument „BAUA (2008): Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe EMKG Version 2.1 und Schutzleitfäden“

1.4.10 Referenzen

- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, BAUA (2008): Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe; EMKG Version 2.1 und Schutzleitfäden; Stand: 05.11.2008.
- TRGS 600, Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 600, Substitution, August 2008, http://www.baua.de/nn_78960/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-600.pdf
- TRGS 900, Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 900, Arbeitsplatzgrenzwerte. Ausschuss für Gefahrstoffe, Januar 2006. <http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/666762/publicationFile/55588/TRGS-900.pdf;jsessionid=D089BFFAA08FBF54144DA413EA67FEFF>

1.5 Nachhaltige Chemie - Perspektiven für Wertschöpfungsketten und Rahmenbedingungen für die Umsetzung (Umweltbundesamt)

1.5.1 Kurzcharakterisierung (Aufbau und Ziel des Konzeptes)

Basierend auf den gemeinsamen Ergebnissen des Umweltbundesamtes und der OECD²⁰ auf einem Workshop zur Nachhaltigen Chemie im Jahre 2004 entwickelte das Umweltbundesamt im Jahr 2006 folgende Prinzipien zur Bewertung von nachhaltigen Chemikalien:

- **Inhärente Sicherheit** bedeutet, dass Chemikalien kein Risiko mehr darstellen können, sobald die Grundregeln des sicheren Umgangs mit Chemikalien eingehalten werden. Aus Sicht des Umweltschutzes dürfen nachhaltige Chemikalien keine kurz- oder langfristigen Probleme verursachen, nachdem sie in die Umwelt freigesetzt wurden. Für die Umwelt bedeutet Nachhaltigkeit von Chemikalien, dass sie nicht persistent sind, sich nicht über größere Entfernungen ausbreiten (short range chemicals) und keine irreversiblen Wirkungen haben (Abb. 3).

²⁰ Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD, engl.: Organisation for Economic Co-operation and Development)

Abbildung 3: Charakteristika für nachhaltige und inhärent sichere Chemikalien



- **Besonders gefährliche Stoffe** müssen in der Anwendung eingeschränkt oder sogar verboten werden. Dies sind zum Beispiel kanzerogene, mutagene oder reproduktionstoxische Stoffe (CMR-Stoffe), oder endokrin wirksame Stoffe. Des Weiteren zählen hierzu solche Stoffe, die für die Umwelt besonders kritisch sind, weil sie entweder langlebig (persistent) und anreicherungsfähig (bioakkumulierend) und toxisch sind (PBT-Stoffe); sehr persistent und sehr bioakkumulierend sind (vPvB). Stoffe dieser Kategorien sind unter REACH zulassungspflichtig.
- Im Vergleich dazu sind **nachhaltige Chemikalien** solche, die keine gefährlichen Eigenschaften aufweisen. Das bedeutet, dass sie weder bekannte Schadwirkungen haben, noch so lange in der Umwelt verbleiben, dass bisher unbekannte schädliche Wirkungen zu einem Problem werden können und sich nicht in Organismen anreichern. Eine Mehrheit von Stoffen ist zwar nicht besonders besorgniserregend, bedarf jedoch aufgrund einzelner Wirkparameter einer vorsichtigen Anwendung, aber nicht eines Verbots oder Verwendungsbeschränkung.

Eine nachhaltige Chemikalie wird nicht nur durch die stoffinhärenten Eigenschaften charakterisiert. Auch die Bedingungen, unter denen die Stoffe hergestellt, verarbeitet und angewendet werden, müssen für den gesamten Lebenszyklus bewertet werden. Dazu gehören:

- der **spezifischer Ressourcenbedarf** während der Herstellung mit Bezug auf Energie, Roh- und Hilfsstoffe;
- die **Ausbeute** bei der Herstellung sowie die **Atomökonomie** der Herstellungsreaktion (d.h. welcher Anteil der eingesetzten Ausgangsstoffe findet sich aufgrund der Stöchiometrie im gewünschten Produkt wieder);
- die **Umweltbelastungen entlang des Lebenswegs** (d.h. während der Herstellung, Anwendung und Entsorgung), z.B. die mit der Herstellung verbundenen Emissionen in Luft, Wasser und Boden, Abwasser- und Abfallmengen²¹;
- eine **vertretbare Funktionalität**: Das Kriterium der „inhärenten“ Stoffsicherheit kann nicht für Chemikalien gelten, wenn die gefährliche Eigenschaft ihre Funktion bedient. Brennstoffe müssen durchaus entzündlich, Pestizide toxisch und reaktive Reagenzien aggressiv oder ätzend sein. Gefährliche Chemikalien sind aber dann nicht notwendig, wenn diese Eigenschaften keine bestimmte Funktion bedienen.

Bei manchen Chemikalienverwendungen stellt sich die Frage, ob die Funktionalität überhaupt von Belang ist und der Chemikalieneinsatz gerechtfertigt ist. Dabei ist die Frage, ob eine Chemikalienverwendung unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit gerechtfertigt ist oder nicht, in der Regel keine staatliche Entscheidung, sondern es ist eine Entscheidung der Akteure in der Wertschöpfungskette und letztlich der Verbraucher. Daher ist es wichtig, dass der Chemikalieneinsatz transparent ist, d.h. die Marktteilnehmer sollten die Möglichkeit haben zu wissen, welchen Chemikalieneinsatz und Ressourcenbedarf der fragliche Konsum hat.

Nachhaltige Chemie befasst sich mit dem gesamten Lebensweg von Chemikalien, d.h. mit der Herstellung, einschließlich der Rohstoffe und der Verarbeitung, der Anwendung der Produkte und ihrer Entsorgung. Grundsätzlich kann man zwei Bereiche identifizieren:

- Nachhaltige Produktion und Verarbeitung sowie
- Chemikalien und Produkte

Nachhaltige Produktion und Verarbeitung

Das Umweltbundesamt bewertet chemische Produktions- und Verarbeitungsverfahren gemäß der Kriterien des Anhangs IV der IVU-Richtlinie (siehe Punkt 1.1.2) in Hinblick auf ihre Umweltentlastungspotenziale und schlägt Techniken zur integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung vor.

Verfahren der Chemieproduktion sind nachhaltig, falls sie wenig Energie- und stoffliche Ressourcen verbrauchen. Ressourceneffizienz lässt sich oft mit Prozessoptimierungen in den Produktionsverfahren sowie innovativen Technikansätzen (z.B. optimierte Trennverfahren, verbesserte Katalysatoren, etc.) verbessern. Die (Öko-) Toxizität der

²¹ Abwasser- und Abfallmengen können durch den E-Faktor beschrieben werden, der das Verhältnis zwischen bei der Herstellung entstehenden Menge Abfall je hergestellter Tonne Produkt beschreibt.

Prozesschemikalien soll so gering wie möglich sein. Emissionen und Abfall sind zu vermeiden oder zu verringern. Nachwachsende Rohstoffe sind – bei günstigerer CO₂-Bilanz gegenüber herkömmlichen Ressourcen – als Rohstoffe in den Prozessen zu bevorzugen. Ein wichtiges Element der Nachhaltigkeit ist ferner, die Anlagen störfallsicher zu errichten und zu betreiben.

Chemikalien und Produkte

Das Handlungsfeld „Chemikalien und Produkte“ zielt primär darauf, Chemikalien in ihren Anwendungen sicher zu verwenden. Dabei soll der Anteil inhärent sicherer Chemikalien (siehe oben) besonders in offenen Anwendungen steigen.

Nachhaltige Konzepte und Problemlösungen setzen sich trotz zum Teil vorhandener ökonomischer Vorteile in der chemischen Industrie nicht automatisch durch. Es gibt eine Vielzahl von Aspekten, die sich hemmend und fördernd auswirken können. Unternehmen stellen dann auf alternative Prozesse, Produkte oder Chemikalien um, wenn

- Produkt- bzw. Verfahrensinnovationen finanzielle Vorteile versprechen,
- Vorschriften und Gesetze Standards verlangen, die mit bestehenden Verfahren oder Produkten nicht mehr einhaltbar sind,
- für ein Produkt ein Zertifikat (Öko- und Gesundheitskennzeichen, zum Beispiel Blauer Engel) angestrebt wird,
- Druck von Geschäftspartnern, Kunden und/oder einer kritischen Öffentlichkeit Umstellungen nötig machen.

Hindernisse für Umstellungen sind

- mangelnde Kenntnisse über verfügbare Alternativen und ihre Nutzen,
- lange Entwicklungszeiten mit unsicheren Erfolgschancen,
- hohe Investitionskosten, langfristiger Rücklauf der investierten finanziellen Mittel,
- bestehende Anlagen, die Gewinne erwirtschaften,
- Unsicherheiten über die Zuverlässigkeit der Alternative wegen noch nicht vorhandener Pilotanlagen/Prototypen,
- vorhandene und eingefahrene Industriekultur,
- begrenzte Marktkenntnisse und unzureichende Kooperationsverflechtungen.

Um die Nachhaltige Chemie zu fördern, ist es zunächst wichtig Kommunikationsbarrieren zu überwinden und Ressourcen zu bündeln.

Eine gute Kommunikation zwischen den Akteuren der Wertschöpfungskette zum Austausch von Daten und Information ist dabei essentiell, denn die Hauptverantwortung für Nachhaltigkeit in der Chemie liegt bei den wirtschaftlichen Akteuren. Die Akteure in der Produktkette können diese Verantwortung allerdings nur dann wahrnehmen, wenn die für nachhaltiges Handeln notwendige Information überhaupt vorhanden ist und Mechanismen existieren, die den Austausch solcher Informationen ermöglichen. Voraussetzung ist eine gemeinsame Sprache zwischen den Akteuren, die auf der einen Seite genügend Auskunft

gibt, ob Risiken bestehen, auf der anderen Seite aber nicht so spezifisch ist, dass sensible produktionstechnische Details offen gelegt werden müssen.

Eine funktionierende Kommunikation in der Wertschöpfungskette ist dadurch gekennzeichnet, dass der Informationsfluss in beide Richtungen geht, d.h. sowohl vom Hersteller zum Anwender, als auch vom Anwender zum Hersteller. Für die stofflichen Entwicklungen der Hersteller und Formulierer im Sinne der Nachhaltigkeit ist es wichtig, dass sie von den Anwendern erfahren, ob Sicherheitsprobleme auftreten, welche Kundenwünsche bestehen und welche Anwendungscharakteristika für eine nachhaltige Produktion benötigt werden²². Der Stoffanwender auf der anderen Seite benötigt Informationen darüber, welche Gefahren von einem Stoff ausgehen und unter welchen Bedingungen er sich sicher verwenden lässt (z.B. in Form von erweiterten Sicherheitsdatenblättern inklusive Expositionsszenarien). Stoffanwender sollten in der Lage sein auf der Basis der ihnen zur Verfügung stehenden Informationen eine vergleichenden Bewertung stofflicher Alternativen durchzuführen und so abzuschätzen, welche Stoff- oder Produktalternative mehr Nachhaltigkeit bietet.

²² Chemikalienhersteller bieten ihren Kunden inzwischen nicht nur Stoffe sondern auch anwendungsreife Dienstleistungen an. Solche serviceorientierten Managementkonzepte sind unter dem Stichwort „Chemical leasing“ bekannt. Sie ermöglichen insbesondere einen gezielten, Ressourcen sparenden Chemikalieneinsatz.

1.5.2 Schwerpunktsetzung

Das Konzept des Umweltbundesamtes für eine Nachhaltige Chemie liefert in erster Linie Kriterien für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Einzelstoffen (Chemikalien) bezogen auf den Umweltschutz. Eine Zunahme von inhärent sicheren chemischen Stoffen führt aber auch zu vermehrt eigensicheren Produkten, bzw. Gemischen und Erzeugnisse. Zudem betrachtet das Konzept den gesamten Lebensweg und schließt Einzelstoffe, Gemische und Erzeugnisse mit ein. Die Gesamtbetrachtung des Lebenswegs und die Forderung Chemikalien zu verwenden und zu entwickeln, die für Umwelt und Gesundheit sicher sind, beinhaltet somit neben den Bereichen Umwelt- und Gesundheitsschutz auch die Bereiche Arbeits- und Verbraucherschutz.

Darüber hinaus benennt das Umweltbundesamt auch Anforderungen für die Einführung und Verbreitung der Nachhaltigkeit in der Chemie im Allgemeinen (UBA 2008, S. 28ff). Hierzu zählen z.B.

- die Förderung der Entwicklung marktfähiger, nachhaltiger Produkte und Verfahren u.a. durch eine interdisziplinäre Forschung und Entwicklung, durch die Kommunikation guter Beispiele, die im Pilotmaßstab erfolgreich waren und durch eine verstärkte Zusammenarbeit von Innovationsmanagement und Nachhaltigkeitsbeauftragten,
- die Verbesserung des Informationsflusses und der Zusammenarbeit zwischen Wissenschafts- und Industriepartnern,
- die Entwicklung von Netzwerken zum Informationsaustausch wie SusChem²³, SubChem²⁴ und die Sustainable Chemistry Platform der OECD²⁵
- die Vertiefung von Nachhaltigkeitsaspekten bereits bei der Ausbildung (Schule, Studium) und
- industrielle Managementkonzepte wie das Chemikalienleasing²⁶.

1.5.3 Adressat

Das Konzept des Umweltbundesamtes für eine Nachhaltige Chemie richtet sich an alle Akteure in der Wertschöpfungskette, d.h. sowohl an die Stoffhersteller, als auch an industrielle und professionelle Anwender. Erstere sind angehalten, inhärent sichere Chemikalien in nachhaltigen Produktions- und Verarbeitungsverfahren zu entwickeln und herzustellen. Letztere sollen eigenverantwortlich mittels vergleichender Bewertung nachhaltige Alternativen auswählen und verwenden.

²³ <http://www.suschem.org/>

²⁴ <http://www.subchem.de/>

²⁵ <http://51938654.de.strato-hosting.eu/>

²⁶ <http://www.chemikalienleasing.de/index.htm> und <http://www.chemikalienleasing.com/>

1.5.4 Angesprochene Abschnitte im Lebenszyklus

Das Konzept des Umweltbundesamtes für eine Nachhaltige Chemie spricht alle Abschnitte im Lebenszyklus einer Chemikalie an, angefangen von der Entwicklung inhärent sicherer Chemikalien bis zur Berücksichtigung des Ressourcenbedarfs bei der Herstellung und den Umweltbelastungen entlang der Lebenswegkette.

1.5.5 Erforderliche Informationen für die Abschnitte im Lebenszyklus, die angesprochen werden

Für die Bewertung der inhärenten Sicherheit der Chemikalien sind die intrinsischen Stoffeigenschaften wie die (öko-) toxikologischen Endpunkte und Abbauwerte notwendig.

Zur weitergehenden Bewertung der Nachhaltigkeit sind daneben auch Informationen über den spezifischen Ressourcenbedarf in Bezug auf Energie, Roh- und Hilfsstoffe sowie die Ausbeute bei der Herstellung und die Atomökonomie der Herstellungsreaktion erforderlich. Das Konzept macht keine Angaben zu Bezugswerten oder –systemen, anhand derer diese Informationen ermittelt werden könnten.

1.5.6 Bezug zu den 12 Prinzipien von Anastas und Warner

Sowohl die Prinzipien von Anastas und Warner als auch das Konzept des Umweltbundesamtes für eine Nachhaltige Chemie beziehen sich auf eine nachhaltige Produktion und Verarbeitung von Chemikalien (und Produkten) sowie die Verwendung von inhärent sicheren Chemikalien. Die beiden Ansätze entsprechen sich im Wesentlichen. Im Konzept des Umweltbundesamtes wird auch auf aktuelle Entwicklungen wie REACH, das internationale Chemikalienmanagement (u.a. SAICM („Strategic Approach to International Chemical Management“) und bestehende Netzwerke zur nachhaltigen Chemie eingegangen (OECD-Netzwerk, SusChem, SubChem).

Die in beiden Konzepten geforderten Ansätze wurden in der Europäischen Union zu großen Teilen durch die umweltrechtlichen Anforderungen umgesetzt. Die IVU-Richtlinie²⁷ z.B. setzt für die Genehmigung von chemischen Produktionsanlagen den Einsatz der Besten Verfügbaren Technik (BVT) zum umfassenden Schutz der Umwelt voraus. Das erfordert den Einsatz von energie- und materialeffizienten Produktionsverfahren sowie die Minimierung von Emissionen und Unfallrisiken.

1.5.7 Bezug zu den fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß Umweltbundesamt

Das Konzept des Umweltbundesamtes für eine Nachhaltige Chemie wurde aus den im Jahre 2004 von OECD und Umweltbundesamt erarbeiteten fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie entwickelt.

1.5.8 Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien

²⁷ EU-Richtlinie zur integrierten Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung

Das Konzept des Umweltbundesamtes für eine Nachhaltige Chemie beinhaltet die Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien.

1.5.9 Verfügbarkeit von Beispielen

Beispiele sind in der Publikation „Nachhaltige Chemie: Positionen und Kriterien des Umweltbundesamtes“ (UBA 2009) enthalten.

1.5.10 Referenzen

- Steinhäuser K.G. und Richter, S. (2006): Nachhaltige Chemie - Perspektiven für Wertschöpfungsketten und Rahmenbedingungen für die Umsetzung; Veröffentlicht in: Angrick, M. et al (2006) Nachhaltige Chemie – Erfahrungen und Perspektiven; Metropolis Verlag für Ökonomie, Gesellschaft und Politik.
- Umweltbundesamt 2009: Nachhaltige Chemie. Positionen und Kriterien des Umweltbundesamtes. Umweltbundesamt (UBA), Dessau 2009.

1.6 Benign by design – Die Reduzierung von Umweltbelastungen durch gezieltes Moleküldesign

1.6.1 Kurzcharakterisierung

Das Konzept „Benign by design“ zielt auf die gezielte Entwicklung in der Umwelt gut abbaubarer Stoffe hin. Es wurde im Themenfeld „Nachhaltige Pharmazie“ von Klaus Kümmerer entwickelt (Kümmerer 2007, Kümmerer und Schramm 2008, Kümmerer et al. 2008). Die möglichst rasche und vollständige Abbaubarkeit bzw. Mineralisierung eines Stoffes nach seiner Anwendung ist in diesem Konzept eine wichtige Vorgabe bei der Forschung und Entwicklung neuer (Wirk-)Stoffe. Dies kann sich zum einen auf bereits bekannte Strukturen (Leitstrukturen) beziehen, die gezielt in Richtung gute Abbaubarkeit verändert werden. Die Vorgabe einer guten Abbaubarkeit kann zum anderen aber auch bei der Neuentwicklung von Wirkstoffen und Prozesschemikalien zur Anwendung gelangen. Die bessere Abbaubarkeit führt in der Folge dazu, dass die Belastung des Abwassers und der Umwelt durch die Stoffe sinkt.

Die Machbarkeit des Ansatzes wurde anhand einer Reihe von evaluierten und auch wirtschaftlich erfolgreicher Fallbeispiele gezeigt (siehe Kümmerer und Schramm 2008). Der scheinbare Widerspruch zwischen notwendiger Stabilität eines Stoffes zur Erfüllung seines Einsatzzweckes und gewünschtem raschen und vollständigem Abbau ist auflösbar, wenn die speziellen Anwendungsbedingungen des Stoffes zu dessen Stabilisierung beitragen (z.B. pH-Wert und Redoxpotential der Anwendungsumgebung). In der Umwelt entfallen diese stabilisierenden Faktoren, sodass ein Abbau stattfinden kann.

1.6.2 Schwerpunktsetzung

Das gezielte Moleküldesign setzt bei der Struktur des Einzelstoffes an. Es ist davon auszugehen, dass die meisten Stoffe letztlich in Form von Gemischen eingesetzt werden. Die bisher im Rahmen des Konzeptes erarbeiteten Beispiele beziehen sich vor allem auf Arzneimittelwirkstoffe und Prozesschemikalien, nicht auf Stoffe in Erzeugnissen. Die Beschreibung des Konzeptes setzt den Schwerpunkt auf den raschen und vollständigen Abbau in der Umwelt, dies hat über den Umweltschutz hinaus auch Vorteile für den Arbeits- und Verbraucherschutz (verringerte Expositionen aufgrund einer guten und vollständigen Abbaubarkeit).

1.6.3 Adressat

Das Konzept des gezielten Moleküldesigns richtet sich vor allem an Stoffhersteller, die selber Forschung und Entwicklung betreiben und Synthesen von Neustoffen durchführen.

1.6.4 Angesprochene Abschnitte im Lebenszyklus

Das Konzept des gezielten Moleküldesigns setzt direkt bei der Neusynthese von Stoffen an, d.h. am Beginn des Lebenszyklusses von Stoffen. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung von Stoffen mit Strukturen, die es bisher noch nicht gegeben hat.

1.6.5 Erforderliche Informationen für die Abschnitte im Lebenszyklus, die angesprochen werden

Zur Beurteilung von Stoffen anhand des Konzeptes des gezielten Moleküldesigns sind Informationen über ihre biologische Abbaubarkeit erforderlich. Es werden sowohl Vorhersagen zur Abbaubarkeit aufgrund von Struktureigenschaften genutzt (qualitative Struktur-Abbaubarkeits-Beziehungen), als auch experimentelle Bestimmungen der Abbaubarkeit durchgeführt.

1.6.6 Bezug zu den 12 Prinzipien von Anastas und Warner

Die Prinzipien von Anastas und Warner beziehen sich auf eine nachhaltige Produktion und Verarbeitung von Chemikalien (und Produkten) sowie die Verwendung von inhärent sicheren Chemikalien. Der Ansatz des gezielten Moleküldesigns bezieht sich direkt hierauf, da er die gezielte Entwicklung inhärent sichere Chemikalien zum Ziel hat. Neben diesem allgemeinen engen Zusammenhang ist ein direkter Bezug zum 10. Prinzip von Anastas und Warner gegeben, in dem die gezielte Entwicklung abbaubarer Produkte angesprochen wird (siehe Kap. 1.1.1):

Prinzip 10. Biologische Abbaubarkeit: Chemische Produkte sind so zu entwickeln, dass sie nach ihrer Nutzung nicht in der Umwelt verbleiben, sondern zu unschädlichen Produkten abgebaut werden.“

1.6.7 Bezug zu den fünf generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß Umweltbundesamt

Das Konzept des gezielten Moleküldesigns geht direkt auf das 4. Prinzip für eine nachhaltige Chemie gemäß Umweltbundesamt ein (siehe Kap. 1.2):

Aktion statt Reaktion: Bereits bei der Entwicklung und vor der Vermarktung von Chemikalien vermeiden, dass diese während ihres Lebenswegs Umwelt und menschliche Gesundheit gefährden und die Umwelt als Quelle oder Senke überbeanspruchen; Schadenskosten und damit wirtschaftliche Risiken der Unternehmen und Sanierungskosten für den Staat vermindern.

Darüber hinaus kann das gezielte Moleküldesign dazu beitragen, dass mehr ungefährliche Chemikalien zur Verfügung stehen, die für die im 1. Prinzip angesprochene qualitative Entwicklung benötigt werden:

Qualitative Entwicklung: ungefährliche Stoffe oder - wo dies nicht möglich ist - Stoffe mit geringer Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt einsetzen und ressourcenschonend produzierte sowie langlebige Produkte herstellen.

Durch gezieltes Moleküldesign können nachhaltige Produkte geschaffen werden, die im 5. Prinzip angesprochen werden:

Wirtschaftliche Innovation: Nachhaltige Chemikalien, Produkte und Produktionsweisen schaffen Vertrauen bei industriellen Anwender, privaten Konsumentinnen und Konsumenten, sowie staatlichen Kunden und erschließen damit Wettbewerbsvorteile.

1.6.8 Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien

Das Hauptziel der Methode liegt in der gezielten Synthese von Molekülen, die nach der Anwendung möglichst rasch vollständig abbaubar sind. Hier liegt ein direkter Bezug zum Konzept der inhärent sicheren Chemikalien vor. Rasch und vollständig abbaubare Moleküle sind – wenn sie nicht akut toxisch sind – inhärent sicher, da sie nicht persistent sind und es dadurch weder zur Bioakkumulation noch zu einem weiträumigen Transport in der Umwelt kommen kann.

1.6.9 Verfügbarkeit von Beispielen (mit Verweis, ggf. Dokumentation in Anhang)

Mehrere Beispiele sind in Kümmerer und Schramm (2008) beschrieben. Die Beispiele stammen u.a. aus dem Bereich der Tenside, Schädlingsbekämpfungsmittel und Arzneimittel.

1.6.10 Referenzen

- Kümmerer, K.; Schramm, E. (2008): Arzneimittelentwicklung: Die Reduzierung von Umweltbelastungen durch gezieltes Moleküldesign. In: Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung, 20, S. 249 – 263
- Kümmerer, K.; Keil, F.; Hempel, M.; Schäfer, H.-C. (2008); Sustainable pharmacy. In: Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung, 21, S. 115 – 117.
- Kümmerer, K. (2007): Moleküle in Produkten: die Hauptemission der chemischen Industrie – wie können sie nachhaltiger werden? Vortrag zum Workshop Nachhaltige

Chemie, Arbeitsgemeinschaft Nachhaltige Chemie in der GDCh, Frankfurt am Main,
20.3.2007

Eine vergleichende Übersicht der analysierten vier Konzepte wird in der folgenden Tabelle 3 gegeben.

Tabelle 2 Vergleich der vorhandenen Konzepte mit Kriterien für Nachhaltige Chemikalien

	Short Range Chemicals	EMKG	UBA Nachhaltige Chemie	Benign by design
Kriterien für die Bewertung der Nachhaltigkeit	Persistenz (>90 Tage), räumliche Reichweite (CTD > 500km); (Toxizität, Entflammbarkeit, Emissionsverhalten, etc.)	GefahrenEinstufung (Xi, Xn, C, T, T+), R-Sätze (bezogen auf Tox) und AGW, (eingesetzte Menge, Freisetzungsverhalten)	Inhärente Sicherheit ((Öko-)Tox, Umwelt), Spezifischer Ressourcenbedarf, Ausbeute und Atomökonomie, Umweltbelastungen, Vertretbare Funktionalität	Möglichst vollständiger Abbau/ Mineralisierung der Stoffe nach der Erfüllung ihrer Funktion
Schwerpunktsetzung	Chemikalien; Umweltschutz, (Arbeitsschutz)	Gefahrstoffe; Arbeitsschutz	Chemikalien und Prozesse; Umweltschutz; Nachhaltigkeit in der chemischen Wertschöpfungskette	Gezielte Entwicklung gut abbaubarer Chemikalien
Adressat	Hersteller und (indust./prof.) Anwender	indust./prof. Anwender, v.a. in KMUs	Hersteller und (indust./prof.) Anwender	Primär Hersteller von Stoffen
Lebenszyklusabschnitt	Alle Abschnitte, in denen es zu Stoff-Freisetzen kommen kann	Anwendung	Alle Lebenszyklusabschnitte	Stoffsynthese
Erforderliche Informationen	Intrinsische Stoffeigenschaften wie Abbaubarkeit, Verteilungskoeffizienten, Toxizitätsendpunkte	Gefahrensymbole, Einstufung (R-Sätze) und AGW, Freisetzungsvermögen (z.B. Siedepunkt,	Intrinsische Stoffeigenschaften wie Abbaubarkeit und Toxizitätsendpunkte; Spezifischer	Vorhersagen zur Abbaubarkeit

	Short Range Chemicals	EMKG	UBA Nachhaltige Chemie	Benign by design
		Staubungsverhalten), Verwendete Mengen, Art und Umfang Hautkontakt	Ressourcenbedarf (Energie, Roh- und Hilfsstoffe) Ausbeute bei der Herstellung Atomökonomie der Herstellungsreaktion	
Ziele	„kurzreichweitige“ Stoffe mit geringem negativen Wirkpotential	Sichere Anwendung von Gefahrstoffen	Schädliche Emissionen vermeiden; Ressourcen in geringst möglichem Umfang beanspruchen	Bereits bei der Entwicklung neuer (Wirkstoff-)Strukturen einen raschen und vollständigen Abbaus nach der Erfüllung der Funktion sicher stellen
Bezug zu den 5 generellen Prinzipien für eine nachhaltige Chemie gemäß UBA	Qualitative Entwicklung, Quantitative Entwicklung, Aktion statt Reaktion, Wirtschaftliche Innovation	Qualitative Entwicklung, Quantitative Entwicklung, Aktion statt Reaktion, Wirtschaftliche Innovation	Bezug zu allen Prinzipien	Aktion statt Reaktion, (Qualitative Entwicklung, Wirtschaftliche Innovation)
Bezug zu den Charakteristika für inhärent sichere Chemikalien	Inhärent sichere Chemikalien sind Teil des Konzepts	Maßnahmenbedarf hängt von Gefährdungseinstufung ab: inhärent sichere Maßnahmen würden keiner Maßnahmen bedürfen	Inhärent sichere Chemikalien sind Teil des Konzepts	Die Synthese inhärent sicherer Chemikalien ist der Kern des Ansatzes.
Verfügbarkeit von Beispielen	Ja	Ja	Ja	Ja

Anlage A-1: The Twelve Principles of Green Chemistry.**Veröffentlicht von Anastas, P.T. & Warner, J.C.)²⁸****1. Prevention**

It is better to prevent waste than to treat or clean up waste after it has been created.

2. Atom Economy

Synthetic methods should be designed to maximize the incorporation of all materials used in the process into the final product.

3. Less Hazardous Chemical Syntheses

Wherever practicable, synthetic methods should be designed to use and generate substances that possess little or no toxicity to human health and the environment.

4. Designing Safer Chemicals

Chemical products should be designed to effect their desired function while minimizing their toxicity.

5. Safer Solvents and Auxiliaries

The use of auxiliary substances (e.g., solvents, separation agents, etc.) should be made unnecessary wherever possible and innocuous when used.

6. Design for Energy Efficiency

Energy requirements of chemical processes should be recognized for their environmental and economic impacts and should be minimized. If possible, synthetic methods should be conducted at ambient temperature and pressure.

7. Use of Renewable Feedstocks

A raw material or feedstock should be renewable rather than depleting whenever technically and economically practicable.

8. Reduce Derivatives

Unnecessary derivatization (use of blocking groups, protection/ deprotection, temporary modification of physical/chemical processes) should be minimized or avoided if possible, because such steps require additional reagents and can generate waste.

9. Catalysis

Catalytic reagents (as selective as possible) are superior to stoichiometric reagents.

10. Design for Degradation

Chemical products should be designed so that at the end of their function they break down into innocuous degradation products and do not persist in the environment.

²⁸ Anastas, P. T.; Warner, J. C. Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press: New York, 1998, p.30. By permission of Oxford University Press from ACS Green Chemistry Institute Webpage

11. Real-time analysis for Pollution Prevention

Analytical methodologies need to be further developed to allow for real-time, in-process monitoring and control prior to the formation of hazardous substances.

12. Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention

Substances and the form of a substance used in a chemical process should be chosen to minimize the potential for chemical accidents, including releases, explosions, and fires.