Kurzfassung zur Ökobilanz

Ökobilanzierung der Lindner ECO® Fassade

Lindner Fassaden GmbH

PE INTERNATIONAL
EXPERTS IN SUSTAINABILITY

Lindner

Titel der Studie:

Kurzfassung - Ökobilanzierung der Lindner ECO® Fassade

Auftraggeber:

Lindner Fassaden GmbH

Georgstraße 2

94424 Arnstorf

Telefon +49(0)8723/20-3500

Telefax +49(0)8723/20-3550

Lindner.Fassaden@Lindner-Group.com

www.Lindner-Group.com

Mai 2010

Autoren:

Diana Eichhorn

PE INTERNATIONAL GmbH

Hauptstraße 111 – 115
D – 70771 Leinfelden – Echterdingen

Tel. +49 (0) 711 34 18 17 – 0
Fax +49 (0) 711 34 18 17 – 25

E-mail info@pe-international.com

Internet www.pe-international.com

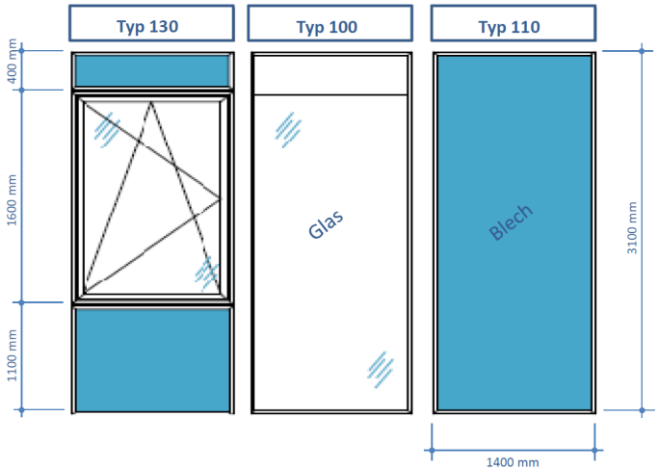
Kurzfassung

Betrachtete Fassadentypen

Die Studie beschreibt eine Ökobilanz nach ISO 14040/44 für die Lindner ECO® Fassade in drei Varianten der Lindner Fassaden GmbH:

- Lindner ECO® Fassade Typ 100 (vollverglast): Aluminiumprofile mit Isolierglasscheiben und Abdichtung aus EPDM
- Lindner ECO® Fassade Typ 130 (teilverblendet): Aluminiumprofile mit Aluminiumblechen, Isolierglasscheiben und Abdichtung aus EPDM.
- Lindner ECO® Fassade Typ 110 (vollverblendet): Aluminiumprofile mit Aluminiumblechen, Dämmung aus Steinwolle und Abdichtung aus EPDM

`



Die Referenzgröße der Berechnungen ist stets ein Quadratmeter (1 m²) Fassadenfläche. Ein Fassadenelement entspricht einer Fläche von 4,34 m².

Umfang der Bilanzierung

Die Ökobilanz ist repräsentativ für die beschriebenen Produkte und den Bezugszeitraum 2010. Sie umfasst die Herstellung der Fassadenelemente, deren Transport (Nutzungsphase) und das Recycling bzw. die Entsorgung der Produkte.

Im Herstellungsprozess enthalten sind sowohl die Vorketten zur Gewinnung der Rohstoffe, als auch die Verarbeitung der Halbzeuge und die Montage zum Endprodukt. Berücksichtigt werden Betriebsstoffe, Hilfsstoffe und die Verpackung. Für die eloxierten Aluminiumbauteile wird die Annahme getroffen, dass diese durchschnittlich aus 25% Sekundäraluminium hergestellt werden. Die Behandlung der während der Produktion anfallenden Abfallströme, wie auch die Herstellung und die Entsorgung des Verpackungsmaterials werden in der Auswertung dem Herstellungsprozess zugeordnet. Dies gilt auch für dabei methodisch zugeteilte Gutschriften für Material und Energie.

Es werden die Transporte der Halbzeuge bis zur Produktionsstätte Arnstorf (Herstellungsphase) und der Transport der Fassadenelemente bis zur Baustelle (durchschnittliche Entfernung) in die Berechnung einbezogen (Nutzungsphase). Aufgrund vielfältiger Abhängigkeiten im Hinblick auf eine Fassadenreinigung wird diese nicht berücksichtigt.

Ein Szenario mit Metallrecycling, Deponierung von Glas und Mineralwolle und thermischer Verwertung für die Kunststoffanteile des Produkts dient der ökobilanziellen Berechnung der Materialien nach Abriss des Gebäudes. Darin enthalten sind entsprechende Gutschriften für Material- und Energierückgewinnung.

Datengrundlagen

Die Vordergrunddaten (Stücklisten, Material- und Energieverbräuche bei der Montage), wurden von der Linder Fassaden GmbH erhoben. Die Vorketten (Aluminiumextrusionsprofile, Isolierverglasung, Alu-/Stahlbleche etc.), Energiebereitstellungsprozesse und weitere Hintergrunddaten wurden der GaBi 4 Datenbank entnommen. Alle Daten wurden mit Hilfe der Software GaBi 4 verarbeitet.

Die Ergebnisse der Ökobilanz werden mit Daten zum Primärenergiebedarf, Abfällen und Wassernutzung, sowie mit den sechs Wirkungskategorien Treibhauspotential, Ozonabbaupotential, Versauerungspotential, Eutrophierungspotential, Sommersmogpotential und abiotischem Ressourcenverbrauch angegeben.

Primärenergiebedarf

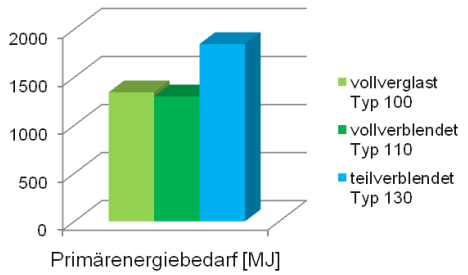
Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie für die Herstellung der Fassadenelemente (bezogen auf 1 m²) liegt zwischen 1.950 bis 3.270 MJ. Die teilverblendete Variante enthält den höchsten Aluminiumanteil und hat mit 3270 MJ den höchsten Bedarf (vollverglast: 1950 MJ, vollverblendet: 2480 MJ).

Bezogen auf den gesamten Lebensweg, inklusive einer Gutschrift für recyceltes Material (Aluminium/Stahl) hat das vollverblendete Fassadenelement mit 1.200 MJ nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf den geringsten Verbrauch (vollverglast: 1.290 MJ, teilverblendet: 1.730 MJ).

Auch beim Bedarf an erneuerbarer Primärenergie für die Herstellung der Fassadenelemente ist der Wert für die teilverblendete Variante mit 565 MJ am höchsten (vollverglast: 240 MJ, vollverblendet: 430 MJ).

Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie für den gesamten Lebensweg ist am geringsten für die vollverglaste Variante mit 56 MJ (teilverblendet: 117 MJ, vollverblendet: 96 MJ).

Die Summe an Primärenergiebedarf für die Herstellungsphase ist für die vollverglaste Variante am günstigsten (vollverglast: 2.190 MJ, vollverblendet: 2.900 MJ, teilverblendet: 3.830 MJ). Berücksichtigt man den gesamten Lebenszyklus zeigt das vollverblendete Fassadenelement mit 1.300 MJ den geringsten Bedarf (vollverglast: 1.340 MJ, teilverblendet: 1.840 MJ).



Der Aufwand für den Transport zur Baustelle (durchschnittlich 415 km) liegt bei maximal 1% des gesamten Primärenergiebedarfs.

Abfälle

Das Abfallaufkommen unterscheidet sich bei den drei betrachteten Produktvarianten nicht wesentlich. Größte Position bezüglich Masse sind die Haldengüter, im Wesentlichen verursacht durch die Metallgewinnung im Bereich von ca. 200 kg je m² Fassade. Die radioaktiven Abfälle resultieren aus der Gewinnung von elektrischer Energie aus Kernkraft, die im verwendeten Datensatz zum Strommix enthalten ist.

Wassernutzung

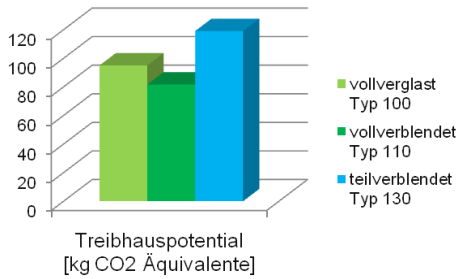
Der Wasserbedarf, notwendig für die Herstellung der eloxierten Aluminiumprofile-, bleche und der Isolierverglasung liegt in der Größenordnung von 800 bis 1.000 l je m² Fassade.

Umwelteinwirkungen

Für die drei betrachteten Fassadenelemente dominiert bei allen betrachteten Umweltwirkungen der Einfluss während der Herstellungsphase. Aufgrund der Recyclingmöglichkeiten für die eingesetzten metallischen Werkstoffe werden nach Abzug des Aufwands für die Recyclingprozesse dem System Gutschriften für das wiedergewonnene Material zugeschrieben.

Treibhauspotential

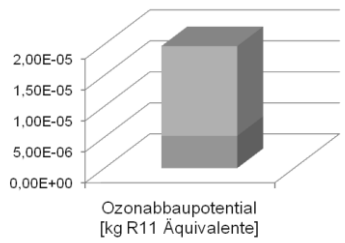
Das Treibhauspotential für die Herstellung liegt bei ca. 140 kg CO_2-Äq. (vollverglast). 170 kg CO_2-Äq. (vollverblendet) und 225 kg CO_2-Äq. (teilverblendet). Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden ca. 80 kg CO_2-Äq. (vollverblendet), 95 kg CO_2-Äq. (vollverglast) und 120 kg CO_2-Äq. (teilverblendet) emittiert.

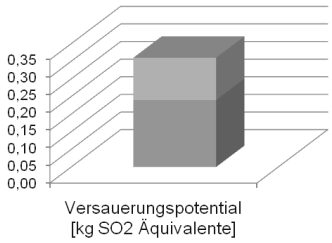


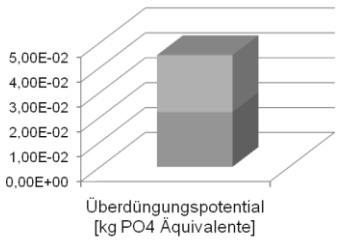
Ergebnisse weiterer Wirkungskategorien

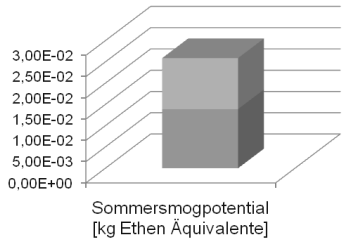
Auch bei den anderen Wirkungskategorien unterscheiden sich die drei Fassadenelemente nicht wesentlich. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet liegt das Ozonabbaupotential bei ca. 5,2 E-06 bis 2,0 E-05 R11-Äq., das Versauerungspotential bei ca. 0,2-0,3 kg SO_2-Äq., das Eutrophierungspotential bei 2,2 E-02 bis 3,9 E-02 PO_4^{3}-Äq., das Sommersmogpotential bei ca. 1,4 E-02 bis 2,6 E-02 kg Ethen-Äq. und der abiotische Ressourcenverbrauch bei 0,4-0,7 Sb-Äq..

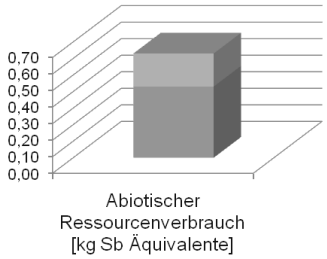
Folgende Diagramme zeigen die Wirkungskategorien zusammengefasst für die verschiedenen Fassadentypen.











Fazit

Den größten Einfluss auf die Umweltwirkungen hat die Herstellung der eloxierten Aluminiumprofile und bei der teil- und vollverblendeten Variante die Aluminium- und Stahlbleche. In der vollverglasten Variante wird das Treibhauspotential mit 25% durch die Herstellung des Isolierglases beeinflusst.

Aufgrund des Materialrecyclings für Aluminium und Stahl und den daraus resultierenden Gutschriften bei der ökobilanziellen Betrachtung relativiert sich der Einfluss. Die anderen Wirkungskategorien weisen ähnliche Profile auf wie das Treibhauspotential.

Zusammenfassend ergibt sich beim Vergleich der drei betrachteten Elementfassaden folgendes Ergebnis:

Die teilverblendete Fassade erweist sich bei fünf von sechs Wirkungskategorien (außer EP) als ökologisch ungünstigste Variante. Die vollverblendete Fassade ist in fünf von sechs Wirkungskategorien (außer ODP) das ökologisch günstigste Produkt (siehe Tabelle Folgeseite).

Der Hintergrundbericht der Studie dient als Basis für eine Umweltproduktdeklaration.

In der Tabelle werde die Ergebnisse der Ökobilanzierung für die verschiedenen Ausführungen der Linder ECO® Fassade im direkten Vergleich dargestellt.

LF ECO 01			Elementaufbau		
Auswertegröße		Einheit	TYP 100	TYP 110	TYP 130
Treibhauspotential (GWP)		kg CO_2 – Äqv./ m²	94,99	81,67	119,06
Versauerungspotential (AP)		kg SO_2 - Äqv./ m²	0,30	0,19	0,31
Eutrophierungspotential (EP) (Überdüngung)		kg PO_4 - Äqv./ m²	4,49E-02	2,20E-02	3,89E-02
Sommersmogpotential (POCP)		kg C_2H_4 (Ethen) – Äqv./ m²	2,49E-02	1,39E-02	2,59E-02
Ozonabbaupotential (ODP)		kg R11 (Kältemittel) – Äqv./ m²	5,20E-06	8,38E-06	1,97E-05
Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP)		kg Sb (Antimon) – Äqv./ m²	0,52	0,43	0,65
Primärenergiebedarf	erneuerbar	MJ	56,20	96,15	116,96
	nicht erneuerbar	MJ	1286,40	1202,62	1727,35

Anhang
Erläuterung der Wirkungskategorien

Primärenergiebedarf

Der Primarenergiebedarf kann durch unterschiedliche Arten an Energiequellen gedeckt werden. Der Primärenergiebedarf ist das Quantum an direkt aus der Hydrosphäre, Atmosphäre oder Geosphäre entnommenen Energie oder Energieträger, die noch keiner anthropogenen Umwandlung unterworfen wurde. Bei fossilen Energieträgern und Uran ist dies z.B. die Menge entnommener Ressourcen ausgedrückt in Energieäquivalent (Energieinhalt der Energierohstoffe). Bei nachwachsenden Energieträgern wird z.B. die energetisch charakterisierte Menge eingesetzter Biomasse beschrieben. Bei Wasserkraft handelt es sich um die Energiemenge, die aus der Änderung der potentiellen Energie (aus der Höhendifferenz) des Wassers gewonnen wird. Als aggregierte Werte werden folgende Primärenergien ausgewiesen:

Der Summenwert **„Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar“** angegeben in MJ charakterisiert im Wesentlichen den Einsatz der Energieträger Erdgas, Erdöl, Braunkohle, Steinkohle und Uran. Erdgas und Erdöl werden sowohl zur Energieerzeugung, als auch stofflich als Bestandteil z.B. von Kunststoffen eingesetzt. Kohle wird im Wesentlichen zur Energieerzeugung genutzt. Uran wird ausschließlich zur Stromgewinnung in Kernkraftwerken eingesetzt.

Der Summenwert **„Primärenergieverbrauch erneuerbar“** angegeben in MJ wird in der Regel separat ausgewiesen und umfasst Wind- und Wasserkraft, Solarenergie und Biomasse.

Es ist in jedem Fall wichtig, dass genutzte Endenergie (z.B. 1 kWh Strom) und eingesetzte Primärenergie nicht miteinander verrechnet werden, da sonst der Wirkungsgrad zur Herstellung bzw. Bereitstellung der Endenergie nicht berücksichtigt wird.

Der Energieinhalt der hergestellten Produkte wird als stoffgebundener Energieinhalt ausgewiesen. Er wird durch den unteren Heizwert des Produkts charakterisiert. Es stellt den noch nutzbaren Energieinhalt dar.

Treibhauseffekt (GWP)

Der Wirkungsmechanismus des Treibhauseffektes kann im kleineren Maßstab, wie der Name schon sagt, in Gewächs- oder Treibhäusern beobachtet werden. Dieser Effekt findet auch im globalen Maßstab statt. Die eintreffende kurzwellige Sonnenstrahlung trifft auf die Erdoberfläche und wird dort teilweise absorbiert (was zu einer direkten Erwärmung führt) und teilweise als Infrarotstrahlung reflektiert. Der reflektierte Anteil wird in der Troposphäre durch sogenannte Treibhausgase absorbiert und richtungsunabhängig wieder abgestrahlt, so dass es teilweise wieder zur Erde zurückgestrahlt wird. Dies führt zu einer weiteren Erwärmung.

Zusätzlich zum natürlichen Treibhauseffekt ist aufgrund menschlicher Aktivitäten ein anthropogener Anteil am Treibhauseffekt zu verzeichnen. Zu den anthropogen freigesetzten

Treibhausgasen gehören beispielsweise Kohlendioxid, Methan und FCKW's. Abbildung A 1 zeigt die wesentlichen Vorgänge des anthropogenen Treibhauseffekts. Die Bewertung des Treibhauseffekts sollte die mögliche langfristige globale Auswirkung berücksichtigen.

Das Treibhauspotential wird in Kohlendioxid - Äquivalent (CO_2-Äq.) angegeben. Dies bedeutet, dass alle Emissionen bezüglich ihres potentiellen Treibhauseffekts zu CO_2 ins Verhältnis gesetzt werden. Da die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre in die Berechnung mit einfließen, muss der für die Abschätzung betrachtete Zeithorizont immer mit angegeben werden. Üblich ist ein Bezug auf 100 Jahre.

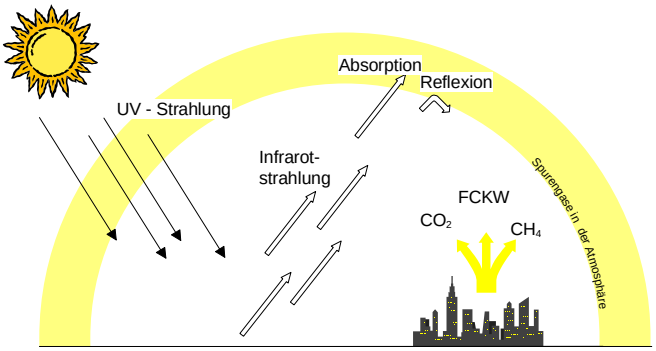


Abbildung A 1: Anthropogener Treibhauseffekt
(Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)**

Ozonabbaupotential (ODP)

Ozon entsteht in großen Höhen durch die Bestrahlung von Sauerstoff-Molekülen mit kurzwelligem UV-Licht. Dies führt zur Bildung der sogenannten Ozonschicht in der Stratosphäre (15 - 50 km Höhe). Rund 10 % des Ozons gelangt durch Vermischungsvorgänge in die Troposphäre. Trotz seiner geringen Konzentration ist die Wirkung des Ozons wichtig für das Leben auf der Erde. Ozon absorbiert die kurzwellige UV-Strahlung und gibt diese richtungsunabhängig mit größerer Wellenlänge wieder ab. Nur ein Teil der UV-Strahlung gelangt auf die Erde. Durch anthropogene Emissionen kommt es zum Abbau der Ozonschicht. Allgemein bekannt wurde dies durch Berichte über das Ozonloch. Beschränkte sich dies dabei auf die Gebiete der Antarktis, so ist jetzt auch, wenn auch nicht im selben Ausmaß, ein Ozonabbau über den mittleren Breiten (z.B. Europa) erkennbar.

Eine ozonabbauende Wirkung wird im Wesentlichen zwei Stoffgruppen zugeschrieben. Dies sind die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) und die Stickoxide (NO_X). Abbildung A 2 zeigt die wesentlichen Aspekte des Ozonabbaus.

Ein Effekt des Ozonabbaus ist die Erwärmung der Erdoberfläche. Zu berücksichtigen ist insbesondere aber auch die Empfindlichkeit von Mensch, Tier und Pflanzen gegenüber UV-B und UV-A Strahlung. Denkbare Auswirkungen sind z.B. Wuchsveränderungen bzw. Minderung der Ernteerträge (Störung der Photosynthese), Tumorindikationen (Hautkrebs und Augenerkrankungen) und die Abnahme des Meeresplanktons, was erhebliche Auswirkungen auf die Nahrungskette nach sich ziehen würde.

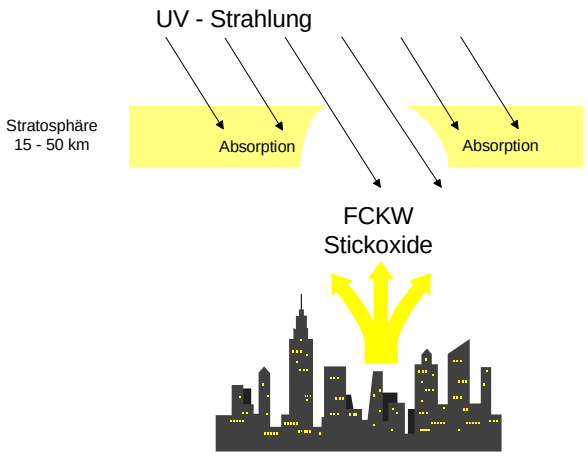


Abbildung A 2: Ozonabbau (Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)**

Im Rahmen des klassischen Konzeptes zur Berechnung des Ozonabbaupotentials werden vor allem anthropogen emittierte Halogenkohlenwasserstoffe, die als Katalysatormolekül viele Ozonmoleküle zerstören können, erfasst. Aus den Ergebnissen von Modellrechnungen für unterschiedliche ozonrelevante Stoffe ergeben sich sogenannte „Ozonschädigende Potentiale“ (ODP: Ozone Depletion Potential). Dabei wird zunächst ein Szenario mit fester Emissionsmenge eines Referenz-FCKW (R11) durchgerechnet. Als Ergebnis erhält man im Gleichgewicht einen bestimmten Wert der Gesamtozonreduktion. Für jede Substanz, für die ein Ozonabbaupotential errechnet werden soll, wird das gleiche Szenario betrachtet, wobei R11 durch die gleiche Menge der Substanz ersetzt wird. Als Ergebnis erhält man das Ozonabbaupotential für die jeweilige Substanz, das in R11-Äquivalenten angegeben wird.

Eine Bewertung des Ozonabbaupotentials sollte die langfristigen, globalen und zum Teil irreversiblen Auswirkungen berücksichtigen.

Versauerungspotential (AP)

Die Versauerung von Böden und Gewässern entsteht überwiegend durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren. Daraus resultiert eine Verringerung des pH-Werts von Regenwasser und Nebel von 5,6 auf 4 und darunter. Relevante Beiträge hierzu liefern Schwefeldioxid und Stickoxide mit ihren Säuren (H_2SO_4 und HNO_3). Schäden entstehen an Ökosystemen, wobei an erster Stelle das Waldsterben zu nennen ist. Dabei kann es zu einer direkten Schädigung oder indirekten Schädigung (Nährstoffauswaschung aus den Böden, verstärkte Löslichkeit von Metallen im Boden) kommen. Aber auch bei Bauwerken und Baustoffen nehmen die Schäden zu. Beispiele hierzu sind Metalle und Natursteine, die verstärkter Korrosion oder Zersetzung ausgesetzt sind. Abbildung A 3 stellt den wesentlichen Wirkungspfad der Versauerung dar.

Das Versauerungspotential wird in Schwefeldioxid – Äquivalent (SO_2-Äq.) angegeben. Es wird die Fähigkeit bestimmter Stoffe, H^+-Ionen zu bilden und abzugeben, als Versauerungspotential bezeichnet. Bestimmten Emissionen kann ein Versauerungspotential zugewiesen werden, indem die vorhandenen S-, N- und Halogenatome zur Molmasse der Emission ins Verhältnis gesetzt werden. Bezugssubstanz ist Schwefeldioxid.

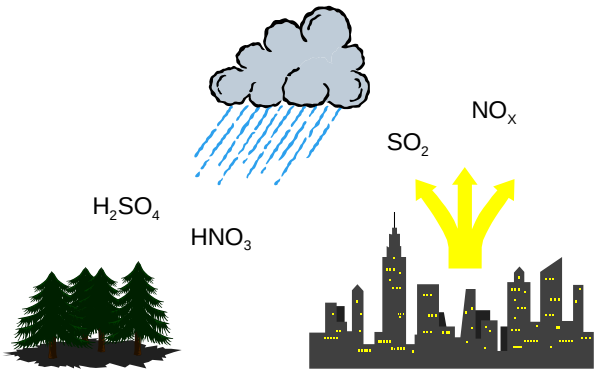


Abbildung A 3:**Versauerung (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)**

Bei der Bewertung der Versauerung ist zu berücksichtigen, dass es sich zwar um ein globales Problem handelt, die Effekte regional jedoch unterschiedlich ausfallen können.

Überdüngungspotential (NP)

Unter Überdüngung bzw. Nährstoffeintrag versteht man eine Anreicherung von Nährstoffen an einem bestimmten Standort. Man unterscheidet dabei zwischen aquatischem und terrestrischem Nährstoffeintrag. Beiträge zur Überdüngung stammen aus Luftschadstoffen, Abwässern und der Düngung in der Landwirtschaft.

Die Folgen für Gewässer sind ein verstärktes Algenwachstum. Dadurch dringt weniger Sonnenlicht in tiefere Schichten vor. Dies für zu einer verringerten Photosynthese verbunden mit einer niedrigen Sauerstoffproduktion. Auch wird für den Abbau abgestorbener Algen Sauerstoff benötigt. Beide Effekte bewirken eine verringerte Sauerstoffkonzentration im Wasser, was letztendlich zu Fischsterben und einer anaeroben Zersetzung (ohne Sauerstoff) führen kann. Es entsteht dabei unter anderem Schwefelwasserstoff und Methan. Man spricht auch von einem „Umkippen des Gewässers“. Quellen der Überdüngung sind in Abbildung A 4 dargestellt.

Auf überdüngten Böden kann man bei Pflanzen eine verstärke Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen sowie eine Schwächung des Festigkeitsgewebes beobachten. Ein zu hoher Nährstoffeintrag führt durch Auswaschungsprozesse zu einem erhöhten Nitratgehalt im Grundwasser. Das Nitrat gelangt so auch ins Trinkwasser.

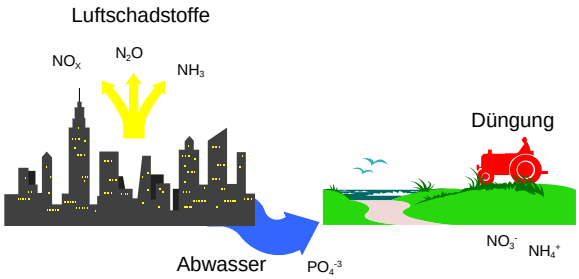


Abbildung A 4: Quellen der Überdüngung (Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)**

Nitrat zumindest in geringen Mengen ist toxikologisch unbedenklich. Problematisch ist jedoch Nitrit als Reaktionsprodukt von Nitrat, welches beim Menschen toxisch wirkt.

Das Überdüngungspotential geht als Phosphat – Äquivalent (PO_4-Äq.) in die Bilanz ein. Wie beim Versauerungspotential ist auch beim Überdüngungspotential zu berücksichtigen, dass die Effekte regional sehr unterschiedlich sind.

Sommersmogpotential (POCP)

Im Gegensatz zur Schutzfunktion in der Stratosphäre ist bodennahes Ozon als schädliches Spurengas einzuordnen. Photochemische Ozonbildung in der Troposphäre, auch als Sommersmog bezeichnet, steht im Verdacht, zu Vegetations- und Materialschäden zu führen. Höhere Konzentrationen von Ozon sind humantoxisch. Unter Einwirkung von Sonnenstrahlung entstehen aus Stickstoffdioxid und Kohlenwasserstoffemissionen unter komplexen chemischen Reaktionen aggressive Reaktionsprodukte, wobei das wichtigste Reaktionsprodukt Ozon ist. Stickstoffdioxid allein bewirkt keine hohe Ozonkonzentration. Kohlenwasserstoffemissionen treten bei unvollständiger Verbrennung, beim Umgang mit Ottokraftstoffen (Lagerung, Umschlag, Tanken etc.) oder beim Umgang mit Lösungsmitteln auf. Hohe Ozonkonzentrationen treten bei hohen Temperaturen, geringer Luftfeuchtigkeit, geringem Luftaustausch sowie hohen Kohlenwasserstoffkonzentrationen auf. Heute geht man davon aus, dass das Vorhandensein von NO bzw. CO das gebildete Ozon zu NO_2 bzw. CO_2 und O_2 reduziert. Daher kommt es in unmittelbarer Nähe der Emissionsquellen oft nicht zu den höchsten Ozon-Konzentrationen. Diese treten eher in Reinluftgebieten (z.B. Wäldern) auf, in welchen kaum NO und CO vorhanden ist (siehe Abbildung 4).

Das Photooxidantienpotential (POCP) wird in der Ökobilanz als Ethen-Äquivalent (C_2H_4-Äq.) angegeben. Bei einer Bewertung muss berücksichtigt werden, dass die tatsächlichen

Ozonkonzentrationen von der Witterung abhängen. Ebenso muss der lokale Charakter der Ozonbildung integriert werden.

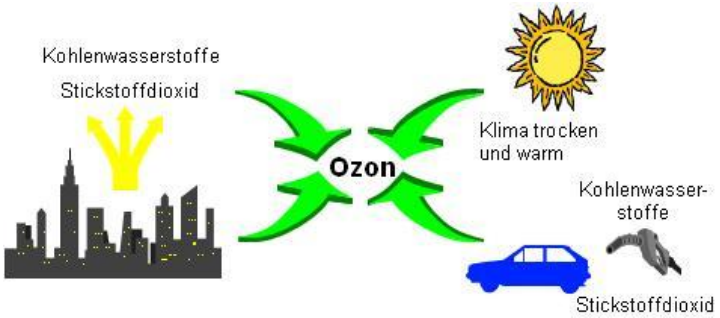


Abbildung A 5: Bodennahe Ozonbildung (Sommersmog)
(Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)**

Abiotischer Ressourcenverbrauch

Der abiotische Ressourcenverbrauch umfasst alle natürlichen Ressourcen (inkl. der fossilen Energieträger) wie metallhaltige Erze, Erdöl und mineralische Rohstoffe. Zu den abiotischen Ressourcen zählen alle Rohstoffe der „unbelebten“ Natur, die somit auch nicht erneuerbar sind. Die Wirkungskategorie beschreibt die Reduktion des globalen Bestandes an nicht erneuerbaren Rohstoffen. Unter nicht erneuerbar wird ein Zeitraum von mindestens 500 Jahren definiert. Diese Auswertegröße enthält sowohl eine Bewertung der Verfügbarkeit natürlicher Elemente allgemein, als auch der Verfügbarkeit fossiler Energieträger. Als Referenzsubstanz und Bezugsgröße für die Charakterisierungsfaktoren wird Antimon (Sb) herangezogen.