



Externe Kosten von Biodiversitätsverlusten infolge von Landnutzungsänderungen sowie infolge von Luftschadstoffdepositionen

Workpackage 4 des integrierten Projektes NEEDS 'New Energy Externalities Developments for Sustainability' des 6. Rahmenprogrammes der EU

Mitfinanziert von ASTRA und BAFU

Zusammenfassung

econcept AG
Lavaterstr. 66
8002 Zürich
044 286 75 86

ESU-services
Kanzleistr. 4
8610 Uster
044 940 61 91

SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME



Project no: **502687**

NEEDS

New Energy Externalities Developments for Sustainability

INTEGRATED PROJECT

*Priority 6.1: Sustainable Energy Systems and, more specifically,
Sub-priority 6.1.3.2.5: Socio-economic tools and concepts for energy strategy.*

Deliverable D.4.2.- RS 1b/WP4 - July 06 **“Assessment of Biodiversity Losses - Monetary Valuation of Biodiversity Losses due to Land Use Changes and Airborne Emissions”**

Start date of project: 1 September 2004

Duration: 24 (48) months

Organisation name for this report:

econcept AG
 Research, Consulting, Project Management
 Lavaterstrasse 66, CH-8002 Zürich
 Tel. + 41 44286 75 75
 Fax. +41 44 286 75 76
 econcept@econcept.ch
 www.econcept.ch

ESU-services
 Kanzleistrasse 4
 CH-8610 Uster
 Tel +41 44 940 61 91
 Fax +41 44 940 61 94
 frischknecht@esu-services.ch
 www.esu-services.ch

Walter Ott, Martin Baur, Yvonne Kaufmann

Rolf Frischknecht, Roland Steiner

Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006).		
Additional funding was provided by the Swiss Federal Office of the Environment (FOEN) and the Swiss Federal Roads Authority (FEDRO)		
Dissemination Level		
PU	Public	PU
PP	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	
RE	Restricted to a group specified by the consortium (including the Commission Services)	
CO	Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	

Summary: Assessment of biodiversity losses due to land use changes and airborne emissions

Land use changes together with acidification and eutrophication caused by the airborne emissions SO₂, NO_x and NH₃ lead to a reduction in species diversity. No studies have yet been undertaken which assess biodiversity losses due to airborne emissions and land use changes.

As part of the integrated project NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability) within the EU's sixth framework programme, **e c o n c e p t** has developed an approach for assessing biodiversity losses due to land use changes and deposition of airborne emissions, which is outlined below. The project was supported by the Federal Roads Authority and the Federal Office for the Environment.

Calculation of external costs

The potentially disappeared fraction, PDF (number of disappeared species) compared with reference conditions is used as an indicator for biodiversity losses and related ecosystem damage. The relevant PDFs are known for 40 different land use categories (CORINE-categories).

The external costs of biodiversity losses due to **land use changes** are calculated using a restoration cost approach. The costs of actual projects from various German studies, where ecologically valuable target biotopes were built up from ecologically less valuable habitats (starting biotopes), are evaluated. These can be used to calculate restoration costs for various land use changes. The resulting restoration costs [€/m²] for 21 target biotopes starting from built up land or other suitable starting biotopes are set out for a total of 32 European countries (purchasing power adjusted), leading for example for selected starting and target biotopes in Switzerland to the following PDF-changes and restoration costs:

Starting biotope		Target biotope	Biodiversity change [PDF]	Restoration costs [€/m ²]
Built up land	-->	Integrated farming	- 0.18	0.23
Built up land	-->	Organic farming	- 0.74	0.60
Intensive farming	-->	Organic farming	- 0.47	0.59
Intensive meadows and pasture	-->	Extensive meadows and pasture	- 0.86	3.76

Table 1 Biodiversity gains (=PDF reduction) and restoration costs (or increases in value) for selected starting and target biotopes (Switzerland)

The **deposition of airborne emissions SO_x, NO_x and NH₃** damages biodiversity through acidification (SO_x, and NO_x) and eutrophication (NH₃ and NO_x). A Dutch damage model, which determines the resulting change in species diversity for marginal deposition changes of SO_x, NO_x and NH₃, measured as the PDF of biotope-specific target species of vascular plants, is used as the basis for calculating biodiversity losses due to airborne emissions. In this case, PDF is an indicator of the extent to which the typical species¹ originally found in a type of habitat are likely to disappear due to the deposition of airborne emissions.

Table 2 shows the empirically derived dose-response model for the Netherlands.

Emission	Deposition increase [kg / (m ² x year)] on natural soils	PDF for the Netherlands with current airborne emission load including deposition increase	Damage per kg deposition [PDF x m ² x year/ kg]
SO _x	0.000064	0.746540	1.73
NO _x	0.000046	0.746867	9.52
NH ₃	0.000017	0.746870	25.94

Table 2 Dose-response model used: additional PDF per kg deposition of airborne emission (Eco-indicator 1999). Reference value for biodiversity losses in the NL in 1999 without additional deposition: PDF = 0.746429.

¹ Concept of target species: characteristic vascular plants for the habitat type in question.

The reference value gives the biodiversity loss measured as potentially disappeared fraction (PDF) of plants² typical for the biotope in question with current depositions of airborne emissions. A PDF of 0.746429 means that, based on present depositions of airborne emissions, 74.6% of the species typical of each biotope in the NL have already disappeared.

Using this empirically-based damage model, the corresponding biodiversity losses can be calculated for small additional deposition changes. For example, the resulting damage per additional kg deposition of SO_x per m² equals 1.73 PDF.

Monetarization of biodiversity losses

The restoration costs calculated for land use changes are used to determine the "monetary value" of PDF changes. The restoration costs for specific habitat types with large species diversity, based on a habitat type with low biodiversity (such as e.g. intensive farming), are combined with the resulting PDF changes. This gives restoration costs per PDF change [€/PDF/m² or CHF/PDF/m²]. Those habitat changes with the lowest restoration costs per PDF change are used for the monetary assessment of biodiversity losses due to deposition of airborne emissions: that is the conversion of integrated farming to organic farming with costs of 0.49 €/PDF/m² for Germany (2004).³

The limits of the approach lie in the fact that the standardization is "blind" with regard to possible differences in the ecological value of single target species typical for a habitat or biotope (i.e. each target species relevant for the biodiversity of a habitat is of equal value).

Results for 32 countries

The external costs of biodiversity losses per kg deposition of SO_x, NO_x and NH₃ for 32 countries are calculated using the German restoration costs of 0.49 €/PDF/m² and the Dutch damage model.

² A species has 'potentially disappeared' when its probability of occurrence on an investigation area in a biotope is less than 5%.

³ When integrated farming (intensive arable) is converted to organic farming (organic arable), the PDF changes by -0.56, i.e. the number of potentially disappeared, habitat-typical plants (target species) falls by 56%. With restoration costs of 0.27 €/m² from integrated to organic farming in the FRG, this gives restoration costs of 0.49 €/PDF/m².

Purchasing power (using the purchasing power standard) is used to adjust the German restoration costs for the different countries. The Dutch model is used as the damage model. The different environmental conditions of each of the countries (soil quality, airborne emission load) is taken into consideration in that the dose-response relations between deposition changes and biodiversity changes are weighted using an indicator (acidification/eutrophication pressure index). The acidification/eutrophication pressure index shows the current state of acidification and eutrophication and the soil properties⁴ in these countries. The percentage of natural areas in each of the countries is also taken into account, since acidification and eutrophication can only effect the biodiversity on natural areas. As an example the following formula shows calculation of the external costs per kg SO_x deposition in Switzerland:

External costs per 1 kg SO_x deposition **kext_{SO2}**

$$\mathbf{kext_{SO2}} = 1.73 \text{ PDF} \times \text{m}^2/\text{kg}_{\text{Deposition}} \times 0.96 \text{ CHF/PDF} \times \text{m}^2 \text{ (PPS-derived value}^5 \text{ corresponding to } 0.49 \text{ €/PDF/m}^2\text{)} \times 0.68 \text{ (= percentage of natural areas in CH)} \times 0.613 \text{ (= Acidification Pressure Index CH)} = \mathbf{0.69 \text{ CHF/kg}}$$

These calculations are carried out in the same way for 31 other European countries and for the three airborne emissions SO_x, NO_x and NH₃.

The following table shows the results per kg/deposition for selected countries:

⁴ Soil properties which determine susceptibility to acidification/eutrophication, such as for example the buffer capacity of calcareous soils.

⁵ PPS: Purchasing power standard takes account of the purchasing power in each of the countries. The PPS refers to the Euro as common currency. The PPS is 1.3 for Switzerland and 1 for the FRG i.e. one € in the FRG corresponds to 1.3 € in Switzerland; therefore for the same service 30% more Euros must be paid in Switzerland than in the FRG.

Estimate of external costs of biodiversity losses due to depositions of airborne emissions in [€/kg _{pollutant deposition}] for 2004			
Country	SO _x	NO _x	NH ₃
EU25	0.15	0.75	1.88
Austria	0.29	1.51	3.91
France	0.05	0.48	1.87
Germany	0.26	1.41	3.81
Italy	0.05	0.53	2.08
Netherlands	0.21	1.15	3.14
Sweden	0.36	1.10	0.65
United Kingdom	0.16	0.48	0.12
Switzerland	0.46	2.79	8.33

Table 3 External costs of biodiversity losses in selected countries due to depositions of airborne emissions for 2004.

The comparatively high costs in Switzerland can be explained by a combination of the following factors:

- The purchasing power standard for Switzerland is 1.3 (high level of prices and wages), i.e. the purchasing power of one euro is 30 % lower in Switzerland for example than in the FRG, which leads to higher restoration costs
- The percentage of natural land which is actually damaged by the depositions in question is high in Switzerland (68%)
- The acidification pressure and eutrophication pressure are both relatively high in Switzerland
- There is no other country where all three factors mentioned above are relatively high at the same time

When the results are validated using the outcomes of various willingness to pay studies the results obtained are plausible.

Zusammenfassung: Bewertung von Biodiversitätsverlusten durch Landnutzungsänderungen und Luftverschmutzung

Landnutzungsänderungen sowie Versauerung und Überdüngung durch die Luftschadstoffe SO₂, NO_x und NH₃ führen zu einer Reduktion der Artenvielfalt. Bisher liegen noch keine Studien vor, die die Biodiversitätsverluste aufgrund der Luftverschmutzung sowie aufgrund von Landnutzungsänderungen bewerten.

e c o n c e p t hat im Rahmen des integrierten Projektes NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability) des sechsten Rahmenprogrammes der EU einen Ansatz zur Bewertung von Biodiversitätsverlusten aufgrund von Landnutzungsänderungen und von Luftschadstoffdepositionen entwickelt, der im folgenden kurz dargestellt wird. Das Projekt wurde vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) und vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) unterstützt.

Berechnung der externen Kosten

Als Indikator für Biodiversitätsverluste und den damit verbundenen Ökosystemschaden wird die "Anzahl verschwundener Arten" (potentially disappeared fraction, PDF) im Vergleich mit einem Referenzzustand verwendet. Für 40 verschiedene Landnutzungskategorien (CORINE-Kategorien) sind die zugehörigen PDF bekannt.

Die externen Kosten der Biodiversitätsverluste infolge von **Landnutzungsänderungen** werden mithilfe eines Wiederherstellungskostenansatzes berechnet. Dabei werden die Kosten von realen Projekten aus verschiedenen deutschen Studien ausgewertet, bei denen aus ökologisch wenig wertvollen (Ausgangs-) Habitaten (starting biotopes) ökologisch wertvolle (Ziel-) Habitats (target biotopes) erstellt werden. Damit können Wiederherstellungskosten (restoration costs) für verschiedene Landnutzungsänderungen berechnet werden. Die resultierenden Wiederherstellungskosten [€/m²] für 21 Zielbiotop, ausgehend von überbautem Land (built up land) bzw. von anderen jeweils geeigneten Ausgangsbiotopen, werden für insgesamt 32 europäische Länder ausgewiesen (kaufkraftbereinigt), so zum Beispiel für die Schweiz (ausgewählte Start- und Zielbiotop):

Startbiotop >	--	Zielbiotop	Biodiversitäts- veränderung [PDF]	Wiederherstellung- kosten [€/m ²]
Überbautes Land	-->	Integrierte Landwirtschaft	- 0.18	0.23
Überbautes Land	-->	Organische Landwirtschaft	- 0.74	0.60
Intensivlandwirtschaft	-->	Organische Landwirtschaft	- 0.47	0.59
Intensiv-Wiesen&Weiden	--	Extensive Wiesen & Weiden	- 0.86	3.76
>				

Tabelle 4 Biodiversitätsgewinne (= Reduktion PDF) und Wiederherstellungskosten (bzw. Wertsteigerungen) für ausgewählte Start- und Zielbiotope (Schweiz)

Die **Deposition der Luftschadstoffe SO_x, NO_x und NH₃** beeinträchtigt die Biodiversität durch Versauerung (SO_x, und NO_x) und Überdüngung (NH₃ und NO_x). Als Grundlage für die Berechnungen der schadstoffbedingten Biodiversitätsverluste wird ein holländisches Schadensmodell verwendet, welches für marginale Depositionsveränderungen von SO_x, NO_x und NH₃ die resultierende Veränderung der Artenvielfalt ermittelt, welche als PDF von habitattypischen Pflanzen (biotope specific target species of vascular plants) gemessen wird. PDF ist in diesem Fall ein Indikator dafür, wie viele der ursprünglich in einem Habitattyp vorkommenden typischen Arten⁶ durch die Deposition von Luftschadstoffen höchstwahrscheinlich verschwinden.

Table 2 zeigt das empirisch ermittelte Dosis-Wirkungsmodell für die Niederlande.

Emission	Depositionszunahme [kg / (m ² * Jahr)] auf natürlichen Böden	PDF für die Niederlande bei aktueller Luftschadstoffbelastung inklusive Depositionszunahme	Schaden pro kg Deposition [PDF*m ² * Jahr/ kg]
SO _x	0.000064	0.746540	1.73
NO _x	0.000046	0.746867	9.52
NH ₃	0.000017	0.746870	25.94

Tabelle 5 Verwendetes Dosis-Wirkungsmodell: Zusätzliche PDF pro kg Luftschadstoff-Deposition (Eco-Indicator 1999). Referenzwert für die Biodiversitätsverluste in den NL im Jahr 1999 ohne zusätzliche Deposition: PDF = 0.746429.

⁶ Konzept der target species: Für jeweiligen Habitattyp charakteristische vaskuläre Pflanzen.

Der Referenzwert gibt den Biodiversitätsverlust gemessen als potentially disappeared fraction (PDF) von für das jeweilige Biotop typischen Pflanzen⁷ bei den aktuellen Luftschadstoffdepositionen an. Ein PDF von 0,746429 bedeutet, dass aufgrund der heutigen Luftschadstoffdepositionen bereits 74,6% der jeweils habitattypischen Arten in den NL verschwunden sind.

Mit dem vorliegenden empirisch begründeten Schadensmodell können für kleine zusätzliche Depositionsänderungen die zugehörigen Biodiversitätsverluste berechnet werden. Der resultierende Schaden pro zusätzliches kg Deposition von SO_x pro m² beträgt beispielsweise 1,73 PDF.

Monetarisierung von Biodiversitätsverlusten

Um den "monetären Wert" von PDF-Veränderungen zu bestimmen, werden die bei Landnutzungsänderungen berechneten Wiederherstellungskosten verwendet. Dabei werden die Wiederherstellungskosten für bestimmte Habitattypen mit grosser Artenvielfalt, ausgehend von einem Habitattyp mit geringer Biodiversität (wie bspw. intensiver Landwirtschaft) mit der dabei resultierenden PDF-Veränderung kombiniert. Daraus ergeben sich Wiederherstellungskosten pro PDF-Veränderung [€/PDF/m² bzw. CHF/PDF/m²]. Zur monetären Bewertung von Biodiversitätsverlusten infolge von Luftschadstoffdepositionen werden diejenigen Habitatveränderungen mit den geringsten Wiederherstellungskosten pro PDF-Veränderung verwendet: Das ist der Übergang von integrierter Landwirtschaft zu Biolandwirtschaft mit Kosten von 0,49 €/PDF/m² für Deutschland (2004).⁸

Die Grenzen des Ansatzes zeigen sich darin, dass die Standardisierung "blind" ist gegenüber allfälligen Unterschieden beim ökologischen Wert einzelner für ein Habitat bzw. Biotop typischer Zielarten (d.h. jede für die Biodiversität eines Habitates relevante Zielart (target species) ist gleich wertvoll).

⁷ Eine Art ist 'potentially disappeared' wenn ihre Auftretenswahrscheinlichkeit (probability of occurrence) auf einer Untersuchungsfläche in einem Biotop kleiner als 5% ist.

⁸ Beim Übergang von integrierter Landwirtschaft (intensive arable) zu Biolandwirtschaft (organic arable) verändern sich die PDF um -0.56, d.h. die Anzahl potenziell verschwundener, habitattypischer Pflanzen (target species) sinkt um 56%. Bei Wiederherstellungskosten von 0.27 €/m² von integrierter zu organischer Landwirtschaft in der BRD ergibt das Wiederherstellungskosten von 0.49 €/PDF/m².

Ergebnisse für 32 Länder

Mit den deutschen Wiederherstellungskosten von 0,49 €/PDF/m² und dem holländischen Schadensmodell werden die externen Kosten von Biodiversitätsverlusten pro kg Deposition von SO_x, NO_x und NH₃ für 32 Länder berechnet.

Die deutschen Wiederherstellungskosten werden kaufkraftbereinigt (mittels Purchasing Power Standard) auf die verschiedenen Länder umgerechnet. Als Schadensmodell wird das holländische Modell verwendet. Die unterschiedliche Umweltsituation der jeweiligen Länder (Bodenqualität, Luftschadstoffbelastung) wird insofern mitberücksichtigt, als die Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen Depositionsveränderungen und Biodiversitätsveränderungen mittels eines Indikators (Acidification-/Eutrophication- Pressure-Index) gewichtet werden. Der Acidification-/Eutrophication- Pressure-Index, bildet den aktuellen Zustand der Versauerung und Überdüngung sowie der Bodeneigenschaften⁹ in diesen Ländern ab. Zusätzlich wird auch der Anteil natürlicher Fläche in den jeweiligen Ländern berücksichtigt, da Versauerung und Überdüngung nur auf natürlichen Flächen die Biodiversität beeinflussen können. Die folgende Formel zeigt beispielhaft die Berechnung der externen Kosten pro kg SO_x - Deposition in der Schweiz:

Externe Kosten pro 1 kg SO_x-Deposition **kext_{SO2}**

$$\mathbf{kext_{SO2}} = 1,73 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}_{\text{Deposition}} * 0,96 \text{ CHF/PDF} \cdot \text{m}^2 \text{ (entspricht PPS-bereinigt}^{10} \text{ 0,49 €/PDF/m}^2\text{)} * 0,68 \text{ (= Anteil natürliche Fläche in CH)} * 0,613 \text{ (= Acidification Pressure Index CH)} = \mathbf{0,69 \text{ CHF/kg}}$$

Diese Berechnungen werden analog für 31 andere europäische Länder sowie für die drei Schadstoffe SO_x, NO_x und NH₃ durchgeführt.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse pro kg/Deposition für ausgewählte Länder:

⁹ Bodeneigenschaften, welche die Anfälligkeit gegenüber Versauerung/Überdüngung mitbestimmen, wie beispielsweise die Pufferkapazität von kalkhaltigen Böden.

¹⁰ PPS: Purchasing power standard, berücksichtigt die Kaufkraft in den jeweiligen Ländern. Der PPS bezieht sich dabei auf den Euro als gemeinsame Währung. Der PPS für die Schweiz beträgt 1,3 und für die BRD 1, d.h. einem € in der BRD entsprechen 1,3 € in der Schweiz, für dieselbe Leistung müssen daher in der Schweiz 30% mehr Euros ausgegeben werden als in der BRD.

Schätzung der externen Kosten von Biodiversitätsverlusten aufgrund von Luftschadstoffdepositionen in [€/kg _{Schadstoffdeposition}] für 2004			
Land	SO _x	NO _x	NH ₃
EU25	0.15	0.75	1.88
Austria	0.29	1.51	3.91
France	0.05	0.48	1.87
Germany	0.26	1.41	3.81
Italy	0.05	0.53	2.08
Netherlands	0.21	1.15	3.14
Sweden	0.36	1.10	0.65
United Kingdom	0.16	0.48	0.12
Switzerland	0.46	2.79	8.33

Tabelle 6 Externe Kosten von Biodiversitätsverlusten in ausgewählten Ländern aufgrund von Luftschadstoffdepositionen für 2004.

Die vergleichsweise hohen Kosten in der Schweiz können als Kombination der folgenden Faktoren erklärt werden:

- Der purchasing power standard für die Schweiz beträgt 1,3 (hohes Preis- und Lohnniveau), d.h. die Kaufkraft eines Euro ist in der Schweiz 30 % tiefer als beispielsweise in der BRD, was zu höheren Wiederherstellungskosten führt
- Der Anteil natürlichen Landes, das durch die jeweiligen Depositionen effektiv beeinträchtigt wird, ist in der Schweiz hoch (68%)
- Sowohl der acidification pressure als auch der eutrophication pressure sind beide in der Schweiz relativ hoch
- In keinem anderen Land sind alle drei oben erwähnten Faktoren gleichzeitig relativ hoch

Die Validierung der Ergebnisse mit den Ergebnissen verschiedener Zahlungsbereitschafts- (willingness to pay)-Studien zeigt, dass die ermittelten Ergebnisse plausibel sind.

Resumée: Évaluation des pertes de biodiversité dues à des changements d'utilisation des sols et à la pollution atmosphérique

Les changements d'utilisation des sols ainsi que leur acidification et leur surfertilisation par certains polluants atmosphériques, le SO₂, les NO_x et le NH₃, entraînent une diminution de la diversité des espèces. Toutefois, on ne dispose jusqu'ici d'aucune étude évaluant les pertes de biodiversité dues à la pollution de l'air ainsi qu'aux changements d'utilisation des sols.

Dans le contexte du projet intégré NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability) du sixième Programme-cadre de l'UE, **e c o n c e p t** a développé une méthodologie pour l'évaluation des pertes de biodiversité dues à des changements d'utilisation des sols et à des dépôts de polluants atmosphériques, qui est brièvement présentée ci-après. Le projet a été soutenu par l'Office fédéral des routes et l'Office fédéral de l'environnement.

Calcul des coûts externes

On utilise, en tant qu'indicateur des pertes de biodiversité et des atteintes à l'écosystème qu'elles engendrent, le nombre d'espèces potentiellement disparues par rapport à une situation de référence (potentially disappeared fraction, PDF). On connaît les PDF correspondant à 40 catégories d'utilisations différentes du sol (catégories CORINE).

Les coûts externes des pertes de biodiversité consécutives à des **changements d'utilisation des sols** sont calculés à l'aide d'une évaluation des coûts de restauration. Pour ce faire, on effectue une estimation des coûts de projets réels, présentés dans différentes études allemandes, qui développent, à partir d'habitats (de départ) ayant une faible valeur écologique (starting biotopes), des habitats (cibles) de grande valeur écologique (target biotopes). On peut ainsi calculer les coûts de restauration (restoration costs) pour différents changements d'utilisation des sols. Les coûts de restauration [en €/m²] qui en résultent pour 21 biotopes cibles, en partant de terrain construit (built up land) ou d'autres biotopes de départ appropriés, sont présentés pour 32 pays européens (coûts corrigés en fonction du pouvoir d'achat), et notamment pour la Suisse (pour des biotopes de départ et biotopes cibles choisis):

Biotope de départ	-->	Biotope cible	Modification de la biodiversité [PDF]	Coûts de restauration [en €/m ²]
Terrain construit	-->	Agriculture intégrée	- 0,18	0,23
Terrain construit	-->	Agriculture organique	- 0,74	0,60
Agriculture intensive	-->	Agriculture organique	- 0,47	0,59
Prairies et pâturages intensifs	-->	Prairies et pâturages extensifs	- 0,86	3,76

Tableau 7 Gains en biodiversité (= réduction du PDF) et coûts de restauration (ou augmentation de la valeur) pour des biotopes de départ et des biotopes cibles choisis (en Suisse)

Les **dépôts de polluants atmosphériques – SO_x, NO_x et NH₃** – portent atteinte à la biodiversité en acidifiant (SO_x, et NO_x) et en surfertilisant (NH₃ et NO_x) les sols. Comme base pour calculer les pertes de biodiversité dues à des polluants, on utilise un modèle hollandais des dommages, qui détermine la modification de la diversité biologique résultant d'un changement marginal des dépôts de SO_x, de NO_x et de NH₃ en la mesurant sous forme de PDF de plantes typiques de l'habitat (biotope specific target species of vascular plants). Le PDF est ici un indicateur du nombre d'espèces typiques¹¹ que l'on trouvait à l'origine dans un certain type d'habitat et qui disparaîtront très probablement à cause des dépôts de polluants atmosphériques.

Le Table 2 présente le modèle dose-réponse empirique pour les Pays-Bas.

Émission	Augmentation des dépôts [en kg / (m ² * an)] sur des sols naturels	PDF pour les Pays-Bas pour la charge polluante actuelle, y compris l'augmentation des dépôts	Dommages par kg de dépôts [en PDF*m ² *an/ kg]
SO _x	0,000064	0,746540	1,73
NO _x	0,000046	0,746867	9,52
NH ₃	0,000017	0,746870	25,94

Tableau 8 Modèle dose-réponse utilisé: PDF supplémentaires par kg de dépôts de polluants atmosphériques (Eco-Indicator 1999). Valeur de référence pour les pertes de biodiversité aux Pays-Bas en 1999, sans dépôts additionnels: PDF = 0,746429.

¹¹ Le concept de « target species » désigne les plantes vasculaires caractéristiques du type d'habitat considéré.

La valeur de référence indique la perte de biodiversité mesurée en tant que « potentially disappeared fraction » (PDF) de plantes¹² typiques du biotope correspondant pour les dépôts actuels de polluants atmosphériques. Un PDF de 0,746429 signifie qu'en raison du niveau actuel des dépôts de polluants atmosphériques, 74,6% des espèces typiques de l'habitat considéré ont déjà disparu aux Pays-Bas.

Ce modèle empirique des dommages permet de calculer les pertes de biodiversité découlant de petites modifications additionnelles des dépôts. Par exemple, le dommage induit par kg supplémentaire de dépôts de SO_x par m² équivaut à 1,73 PDF.

Monétarisation des pertes de biodiversité

Pour déterminer la « valeur monétaire » des modifications du PDF, on utilise les coûts de restauration calculés pour les changements d'utilisation des sols. Pour ce faire, les coûts de restauration de certains types de biotopes renfermant une grande diversité d'espèces, obtenus en partant d'un type d'habitat à faible diversité biologique (p. ex. l'agriculture intensive), sont combinés avec le changement du PDF qui en résulte. On obtient ainsi des coûts de restauration par modification du PDF [en €/PDF/m² ou en CHF/PDF/m²]. Pour effectuer l'évaluation monétaire des pertes de biodiversité dues à des dépôts de polluants atmosphériques, on utilise les modifications d'habitat ayant les coûts de restauration les plus faibles par modification du PDF, à savoir le passage de l'agriculture intégrée à l'agriculture biologique, dont les coûts sont de 0,49 €/PDF/m² pour l'Allemagne (2004).¹³

Les limites de cette démarche résident dans le fait que la normalisation est « aveugle » concernant d'éventuelles différences de la valeur écologique de certaines espèces cibles typiques d'un habitat ou d'un biotope (en d'autres termes, toutes les espèces cibles (target species) importantes pour la biodiversité d'un habitat ont la même valeur).

¹² Une espèce a potentiellement disparu (potentially disappeared) lorsque la probabilité qu'elle apparaisse (probability of occurrence) dans un biotope, sur une surface test, est inférieure à 5 %.

¹³ Lors du passage de l'agriculture intégrée (intensive arable) à l'agriculture biologique (organic arable), les PDF se modifient de -0,56; en d'autres termes le nombre de plantes typiques du biotope potentiellement disparues (target species) diminue de 56%. Avec des coûts de restauration de 0,27 €/m² en Allemagne pour le passage d'une agriculture intégrée à une agriculture organique, on obtient des coûts de restauration de 0,49 €/PDF/m².

Résultats pour 32 pays

Les coûts externes des pertes de biodiversité par kg de dépôts de SO_x, de NO_x et de NH₃ sont calculés pour 32 pays en utilisant les coûts de restauration allemands de 0,49 €/PDF/m² et le modèle hollandais des dommages.

Les coûts de restauration allemands sont convertis dans les monnaies des différents pays et corrigés en fonction du pouvoir d'achat (à l'aide du standard de pouvoir d'achat (SPA), « purchasing power standard (PPS) »). On utilise le modèle hollandais en tant que modèle des dommages. La situation environnementale différente des pays considérés (qualité des sols, pollution atmosphérique) est également prise en compte dans la mesure où les relations dose-réponse entre les modifications des dépôts et les modifications de la biodiversité sont pondérées à l'aide d'un indicateur (acidification/eutrophication pressure index). Cet indice reflète l'état actuel de l'acidification et de la surfertilisation ainsi que des propriétés du sol¹⁴ dans ces pays. On tient en outre aussi compte de la proportion de surfaces naturelles dans les pays considérés, l'acidification et la surfertilisation n'ayant une influence sur la biodiversité que dans des surfaces naturelles. La formule ci-après montre la manière dont se calculent les coûts externes par kg de dépôts de SO_x pour la Suisse:

coûts externes pour 1 kg de dépôts de SO_x C_{extSO_2}

$C_{extSO_2} = 1,73 \text{ PDF} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}_{\text{dépôt}} * 0,96 \text{ CHF} / \text{PDF} \cdot \text{m}^2$ (valeur corrigée à l'aide du SPA¹⁵ correspondant à 0,49 €/PDF/m²) * 0,68 (= proportion de surfaces naturelles en Suisse) * 0,613 (= acidification pressure index CH) = **0,69 CHF/kg**

Des calculs similaires sont effectués pour 31 autres pays européens et pour les trois polluants (SO_x, NO_x et NH₃).

Le tableau ci-après présente les résultats par kg de dépôts pour quelques pays:

Estimation des coûts externes des pertes de biodiversité dues à des dépôts de polluants atmosphériques en [€/kg _{dépôt de polluant}] pour 2004			
Pays	SO _x	NO _x	NH ₃

¹⁴ Caractéristiques du sol qui déterminent la susceptibilité à l'acidification ou à la surfertilisation, telles que le pouvoir tampon de sols calcaires.

¹⁵ SPA: standard de pouvoir d'achat (purchasing power standard, PPS), tient compte du pouvoir d'achat dans les pays considérés. Le SPA se rapporte à l'euro en tant que monnaie commune. Le SPA est de 1,3 pour la Suisse et de 1 pour l'Allemagne; en d'autres termes 1 € en Allemagne correspond à 1,3 € en Suisse. Aussi pour la même prestation, il faudra dépenser en Suisse 30% d'euros de plus qu'en Allemagne.

UE25	0,15	0,75	1,88
Autriche	0,29	1,51	3,91
France	0,05	0,48	1,87
Allemagne	0,26	1,41	3,81
Italie	0,05	0,53	2,08
Pays-Bas	0,21	1,15	3,14
Suède	0,36	1,10	0,65
Royaume-Uni	0,16	0,48	0,12
Suisse	0,46	2,79	8,33

Tableau 9 Coûts externes des pertes de biodiversité dues à des dépôts de polluants atmosphériques en 2004 pour différents pays

Les coûts comparativement élevés en Suisse peuvent s'expliquer par une combinaison des facteurs suivants:

- le standard de pouvoir d'achat pour la Suisse est de 1,3 (niveaux de prix et de salaires élevés), c'est-à-dire qu'en Suisse, le pouvoir d'achat d'un euro est de 30 % inférieur à celui en Allemagne par exemple, ce qui entraîne des coûts de restauration plus élevés;
- la proportion de surfaces naturelles effectivement atteintes par les dépôts considérés est élevée en Suisse (68 %);
- les indices d'« acidification pressure » et d'« eutrophication pressure » sont tous deux relativement élevés en Suisse;
- dans aucun autre pays, les trois facteurs mentionnés ci-dessus ne sont relativement élevés en même temps.

La validation des résultats à l'aide des résultats de différentes études sur le consentement à payer (willingness to pay) montre que les résultats obtenus sont plausibles.