

TEXTE

55/2012

# Deutsches National Focal Centre des ICP Modelling & Mapping (CLRTAP)

Berichterstattung an das Coordination Centre for  
Effects (CCE)

Endbericht



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 312 01 299  
UBA-FB 001667

**Deutsches National Focal Centre  
des ICP Modelling & Mapping (CLRTAP)**

**Berichterstattung an das  
Coordination Centre for Effects (CCE)**

von

**Dr. Hans-Dieter Nagel, Angela Schlutow und Thomas Scheuschner**  
ÖKO-DATA, Gesellschaft für Ökosystemanalyse und  
Umweltdatenmanagement mbH, Strausberg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter  
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4373.html>  
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung  
der Studie: ÖKO-DATA  
Gesellschaft für Ökosystemanalyse und Umweltdatenmanagement mbH  
Hegermühlenstraße 58  
15344 Strausberg

Abschlussdatum: Mai 2012

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>  
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion: Fachgebiet II 4.3 Wirkungen von Luftverunreinigungen auf terrestrische  
Ökosysteme

Markus Geupel

Dessau-Roßlau, November 2012

**Inhaltsverzeichnis:**

<b>1</b>	<b>Umweltpolitische Einordnung des Projekts.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Bereitstellung des deutschen Datensatz für das CCE.....</b>	<b>6</b>
2.1	Aufgabenstellung .....	6
2.2	Aktualisierung des Critical Load Datensatz für Deutschland.....	8
2.2.1	Ermittlung der Critical Loads für Säureeinträge nach der Massenbilanzmethode	9
2.2.2	Ermittlung der Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge nach der Massenbilanzmethode.....	10
2.3	Dynamische Modellierung der geochemischen Prozesse unter veränderten Depositionsbedingungen mit dem Modell VSD+ .....	12
2.4	Dynamische Modellierung der ökosystemaren Effekte von veränderten Depositionen mit dem BERN-Modell .....	22
2.5	NFC Report an das europäische Koordinierungszentrum.....	30
2.6	Zusammenarbeit des deutschen NFC mit denen der Nachbarländer .....	30
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>32</b>

**Abbildungsverzeichnis:**

Abb. 1:	Einordnung verschiedener Indikatoren in nationale und internationale Naturschutzprogramme (siehe auch Anlage 2).....	7
Abb. 2:	Rezeptoren für die Critical Load Berechnung nach der Landnutzungsklassifizierung CORINE 2006.....	9
Abb. 3:	Ableitung der kritischen Stickstoffkonzentration zur Wahrung aller Schutzgüter .....	11
Abb. 4:	Critical Load Berechnung für den ICP IM Standort Forellenbach (Laubwald).....	12
Abb. 5:	$CL_{max}S$ [ $eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ] .....	13
Abb. 6:	$CL_{max}N$ [ $eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ] .....	13
Abb. 7:	$CL_{nut}N$ [ $kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ].....	13
Abb. 8:	$CL_{emp}N$ [ $kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ] .....	13
Abb. 9:	Standorte für die dynamische Modellierung mit VSD+ und die Kopplung mit BERN.....	15
Abb. 10:	VSD+ Modellierung für den Level II Standort Lüss in Niedersachsen.....	17
Abb. 11:	VSD+ Modellierung für den Level II Standort Monschau in Nordrhein-Westfalen .....	18
Abb. 12:	VSD+ Modellierung für den ICP IM Standort Neuglobsow (Laubwald) in Brandenburg .....	19
Abb. 13:	VSD+ Modellierung für den ICP IM Standort Neuglobsow (Nadelwald) in Brandenburg .....	20
Abb. 14:	VSD+ Modellierung für den ICP IM Standort Forellenbach in Bayern.....	21
Abb. 15:	Entwicklung der Artenzahl nach den Möglichkeiten ihrer Existenz .....	25

Abb. 16: Entwicklung der Existenzmöglichkeitsgrade der vorhandenen Arten an den verschiedenen Standorten und der Sørensen-Index (schwarz schraffierte Linie) .....	28
Abb. 17: Existenzmöglichkeiten von Vegetationsgesellschaften am Standort Forellenbach .....	29
Abb. 18: Existenzmöglichkeiten der Arten am Standort Forellenbach.....	29
Abb. 19: Harmonisierte CL Karten im Ergebnis der Kooperation der NFC aus Polen und Deutschland.....	31

**Tabellenverzeichnis:**

Tab. 1: Rezeptoren für die Critical Load Berechnung nach der EUNIS Kodierung .....	8
Tab. 2: Datenlieferung der NFC zum Call for Data 2012 .....	30

## 1 Umweltpolitische Einordnung des Projekts

Auf der 30. Tagung des Exekutivorgans (Executive Body, EB) der Genfer Luftreinhaltekonvention (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, CLRTAP) wurde der Revisionsprozess des Protokolls zur Verringerung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon (Multikomponenten-Protokoll)<sup>1</sup> weitergeführt. Im Ergebnis liegen Entwürfe zum Dokument vor, zu denen eine Beschlussfassung auf der 31. Tagung im Dezember 2012 vorgesehen ist. Bestandteil des revidierten Multikomponenten-Protokolls werden wiederum nationale Verpflichtungen zur Minderung der Emissionen (National Emission Reduction Ceilings, NERC) für die im Protokoll genannten Luftschadstoffe bis zum Jahr 2020 und darüber hinaus sein (emission reduction obligations for 2020 and beyond). Die bisher im Annex II des Multikomponenten-Protokolls für das Jahr 2010 festgelegten Emissionsobergrenzen werden dann auf diese neuen Zielvorgaben ausgerichtet.

Parallel zu der Revision des Multikomponenten-Protokolls wird auch die bisherige NEC-Richtlinie (2001/81/EG) der EU neu verhandelt. Die darin für 2010 festgelegten Emissionsobergrenzen entsprachen weitgehend denen des Multikomponenten-Protokolls. In Zukunft soll ein ähnliches Herangehen gewährleistet bleiben und zur Vereinheitlichung der Zielstellungen von CLRTAP und den Luftreinhalteprogrammen der EU führen. Die Verabschiedung einer neuen NEC-Richtlinie ist für 2013 im Rahmen der umfassenden Überprüfung der Luftreinhaltepolitik in der EU vorgesehen.<sup>2</sup>

Mit beiden Regelwerken sollen Eutrophierung, Versauerung und die schädigende Wirkung von bodennahem Ozon in Europa minimiert werden. Dazu müssen die Emissionen grenzüberschreitender Luftschadstoffe weiter reduziert werden. Für die Erfolgskontrolle beider Regelwerke werden weiterhin die kritischen Schadstoffeintragsraten in Ökosysteme (Critical Loads) und deren Einhaltung bzw. Überschreitung wesentliche Indikatoren sein. Das ICP Modelling & Map-

---

<sup>1</sup> Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone, in Kraft getreten am 17.05.2005; das Protokoll wurde von der Bundesregierung ratifiziert (Bundesgesetzblatt 2004, Teil II Nr. 21 vom 08.07.2004)

<sup>2</sup> [http://ec.europa.eu/environment/air/review\\_air\\_policy.htm](http://ec.europa.eu/environment/air/review_air_policy.htm)

ping (ICP M&M) unter der Working Group on Effects (WGE) der CLRTAP kartiert Critical Loads für den gesamten Bereich der Konvention und berechnet Überschreitungsrisiken und damit verbundene Risiken für die Vegetation und Biodiversität. Nationale Programmzentren (National Focal Centre – NFC) stellen dem europäischen Coordination Centre for Effects (CCE) nationale Critical Loads und weitere Daten für die Bewertung der Risiken von Versauerung und Eutrophierung für Ökosysteme und die darin vorkommende Biodiversität zur Verfügung. Dementsprechend haben die NFC die vom CCE herausgegebenen „Calls for Data“ zu beantworten, die letzte Datenabfrage wurde im März 2012 realisiert, für 2014 ist eine weitere Datenabfrage in Vorbereitung.

Mit Ratifizierung des Multikomponentenprotokolls hat auch Deutschland sich zu regelmäßigen Datenlieferungen und zur Mitwirkung bei der Weiterentwicklung von Methoden zur Bewertung des Schadrisikos in Ökosystemen durch Luftverunreinigungen verpflichtet. Die Aufgaben dieser Berichterstattung nimmt für Deutschland das deutsche NFC wahr. Daher ist sowohl für die Erfüllung der Aufgaben unter der UNECE-Luftreinhaltekonvention als auch für die EU-Luftreinhaltepolitik der Betrieb eines NFC für Deutschland erforderlich und wird bei der Gesellschaft für Ökosystemforschung und Umweltdatenmanagement (ÖKO-DATA) realisiert. Dem NFC obliegen die Berechnung des deutschen Critical-Load-Datensatzes und die Analyse der Differenz zwischen Belastbarkeitsgrenzen und aktueller Belastung. Das NFC ist verantwortlich für die Übermittlung der Critical-Load-Daten an das europäische Koordinierungszentrum. Aus der Einhaltung oder den Überschreitungen von Critical Loads werden Handlungsempfehlungen für die Luftreinhaltepolitik abgeleitet. Darüber hinaus dienen die Überschreitungsraten der Critical Loads auf nationaler Ebene als Indikatoren für das Umwelt-Kernindikatorensystem des Umweltbundesamtes und der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt. Alle genannten Nutzungen der Daten dienen letztlich der Weiterentwicklung der Nachhaltigkeitsprinzipien in Deutschland, der laufenden Aktualisierung der Critical-Load-Datenbank und einer wissenschaftlich fundierten Politikberatung.



## 2 Bereitstellung des deutschen Datensatz für das CCE

### 2.1 Aufgabenstellung

Mit dem Call for Data (CFD) 2011/12 ergaben sich für das deutsche NFC die Aufgabenstellungen (Anlage 1),

- Bewertungsmaßstäbe für die Wirkung von Luftschadstoffen auf die Biodiversität zu entwickeln und auf Teststandorten anzuwenden (siehe Abschnitt 2.4);
- das weiterentwickelte dynamische geochemische Modell VSD+ auf verschiedenen Standorten zu testen und mit dem Biodiversitätsmodell BERN zu koppeln (Abschnitt 2.3) und
- den deutschen Critical-Load-Datensatz zu aktualisieren und zu übermitteln (Abschnitt 2.2).

Ein besonderes Anliegen des CFD war die Vernetzung der verschiedenen Indikatoren zur Bewertung der Wirkungen von Luftschadstoffen. Neben den geochemischen Parametern, die Grundlage der Critical Load Berechnung nach der Massenbilanzmethode darstellen, waren Indikatoren zu entwickeln und zu testen, die dem Schutz der Biodiversität dienen.

Die seit dem Jahr 2004 wirkende europäische Initiative zum Schutz der biologischen Vielfalt SEBI2010<sup>3</sup> (Streamlining European 2010 Biodiversity Indicators) hat 26 Indikatoren zur Bewertung von Gefährdungen für die Biodiversität definiert. In der Biodiversitätsstrategie der EU<sup>4</sup> sind sechs Handlungsfelder mit 20 Zielstellungen für das Jahr 2020 formuliert. U. a. soll der Erhalt der Biodiversität („no net loss of biodiversity“) gesichert werden.

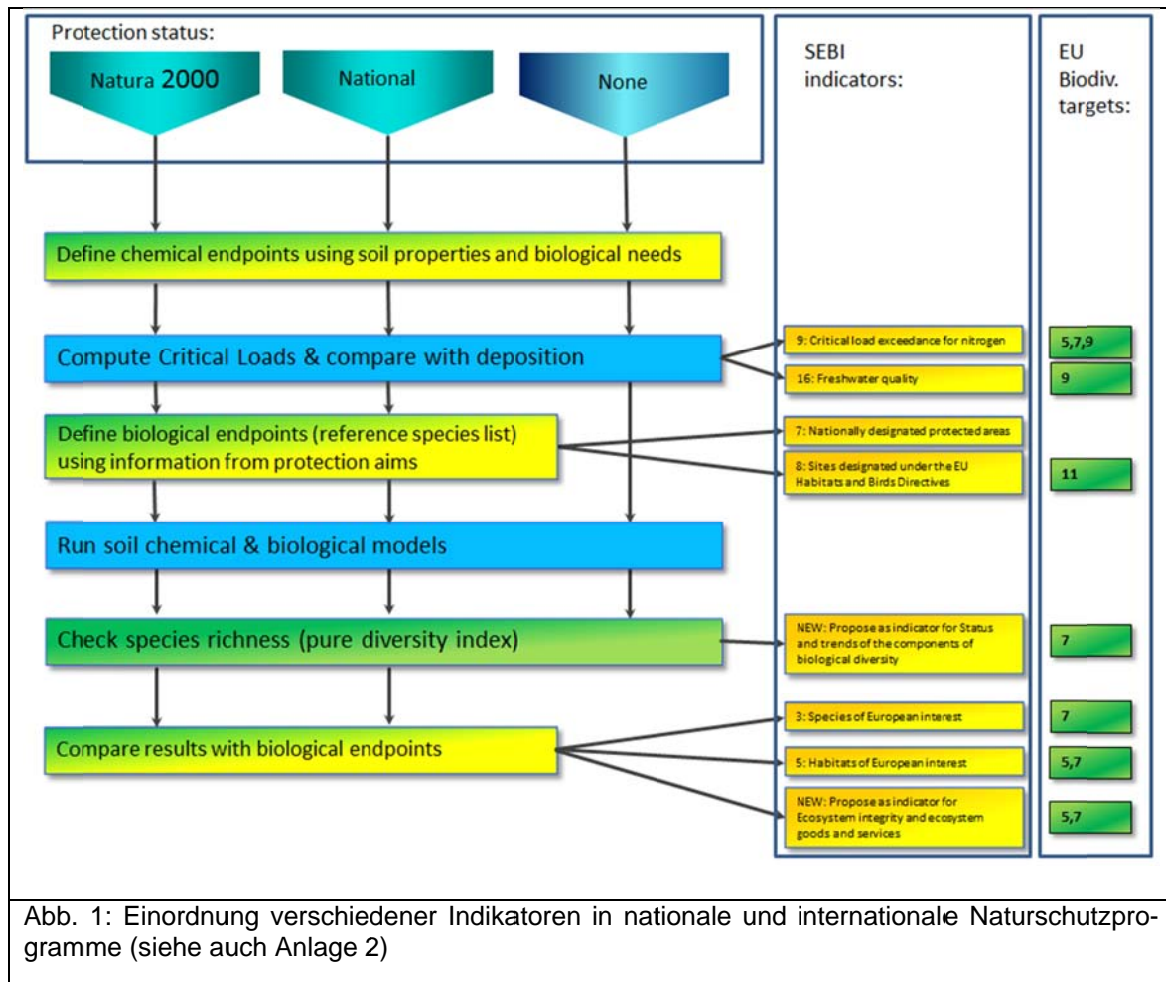
Ausgehend von den unter Schutz stehenden Gebieten nach europäischem Recht (Natura 2000) bzw. nach nationaler Gebietsfestlegung und auch für alle weiteren Biotope von Interesse ergibt sich eine Kaskade von Bewertungsmög-

---

<sup>3</sup> [http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/eu2010\\_indicators/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/eu2010_indicators/index_en.htm)

<sup>4</sup> [http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/pdf/2020/1\\_EN\\_ACT\\_part1\\_v7%5B1%5D.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/pdf/2020/1_EN_ACT_part1_v7%5B1%5D.pdf)

lichkeiten, Maßstäben oder Indikatoren, die je nach Aufgabenstellung, Datenverfügbarkeit oder Maßstabsebene abgearbeitet werden können (Abb. 1).



In Deutschland wurden für die Bewertung der Wirkungen von Luftschadstoffen alle der in Abb. 1 aufgeführten Indikatoren getestet. Die Ergebnisse werden in den nachfolgenden Abschnitten erläutert. An das CCE erfolgte die Übermittlung der mit dem CFD verbundenen Matrix der Indikatoren entsprechend (Anlage 2).

## 2.2 Aktualisierung des Critical Load Datensatz für Deutschland

Mit dem CFD 2011/12 wurde der deutsche Critical-Load-(CL)-Datensatz aktualisiert. Die Berechnung der Critical Loads für Eutrophierung und Versauerung erfolgte nach der Massenbilanzmethode (SMB) entsprechend Mapping Manual. Als Schutzgüter oder ökologische Rezeptoren, die vor akuter bzw. langfristiger Schädigung bewahrt werden sollen, wurden die Wälder und weitere naturnahe waldfreie Ökosysteme ausgewählt. Grundlage dafür sind neben den Landnutzungsklassen nach CORINE<sup>5</sup> 2006 (Abb. 2) die Ökosystemtypen entsprechend der EUNIS<sup>6</sup> Klassifizierung (Tab. 1).

Tab. 1: Rezeptoren für die Critical Load Berechnung nach der EUNIS Kodierung („Others“ sind EUNIS-Klassen mit einem Flächenanteil unter 1%)

EUNIS Code	Proportion of the receptor area [%]	Proportion of German territory [%]	EUNIS Code	Proportion of the receptor area [%]	Proportion of German territory [%]
G4.6	14,7	5,15	G4.8	3,6	1,26
G3.1C	10,2	3,57	G3.1D	3,1	1,09
G1.91	10,0	3,48	G4.71	2,0	0,71
G1.63	9,6	3,34	G1.41	2,0	0,70
G1A.16	8,8	3,08	G1.65	1,4	0,50
G1.61	8,7	3,05	G4.4	1,1	0,39
G3.42	7,8	2,74	G1.221	1,0	0,35
G1.87	5,4	1,87	Others	5,4	1,86
G1.66	5,2	1,81			

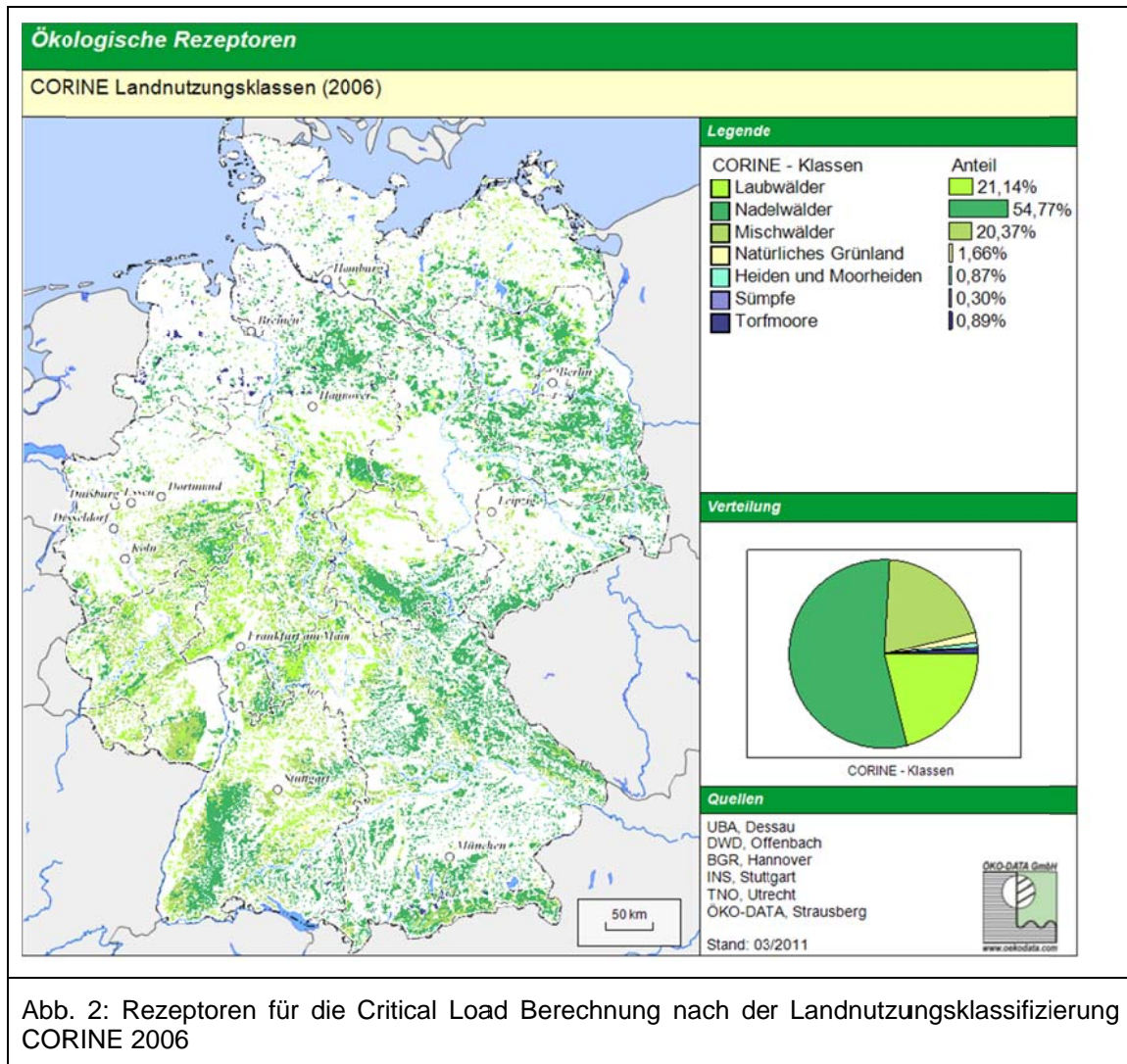
Da über 96 % der untersuchten Rezeptorflächen mit Wald bestanden sind, wird bei den Critical-Load-Berechnungen überwiegend die regionale Verteilung der Belastbarkeitsklassen der Wälder wiedergegeben.

Im Vergleich mit der aktuellen Luftbelastung durch diese Stoffe zeigt sich dann, in welcher Größenordnung und in welchen Regionen Maßnahmen notwendig sind, um Ökosysteme nachhaltig zu sichern und das Risiko der Versauerung und / oder Eutrophierung zu minimieren.

<sup>5</sup> CORINE Land Cover 2006 (CLC2006), siehe <http://sia.eionet.europa.eu/CLC2006>

<sup>6</sup> European Nature Information System (EUNIS), siehe <http://eunis.eea.europa.eu/>

Die Bestimmung der Critical Loads für wichtige ökologische Rezeptoren in Deutschland ist eine wesentliche Grundlage für die Anwendung des Vorsorgeprinzips im Umweltschutz und zum Schutz der Biodiversität.



### 2.2.1 Ermittlung der Critical Loads für Säureeinträge nach der Massenbilanzmethode

Entsprechend der im Mapping Manual<sup>7</sup> gegebenen Definition wird als "Critical Load für Säureeinträge" die höchste Deposition von säurebildenden Verbindun-

<sup>7</sup> Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trend. UBA-Texte, 52/2004, siehe <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2837.pdf>

gen (Schwefel und Stickstoff) verstanden, die langfristig keine schädigenden Effekte in Struktur und Funktion der Ökosysteme infolge chemischer Veränderungen hervorruft. Um beide Luftschadstoffe berücksichtigen zu können, wird die Empfindlichkeit des Ökosystems in Säureäquivalenten angegeben. 1000 Äquivalente pro Hektar und Jahr ( $\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) entsprechen dann etwa einem Eintrag von 16 kg Schwefel oder 14 kg Stickstoff. Die Berechnung der Critical Loads für Versauerung erfolgt nach der Massenbilanzmethode für Schwefel ( $\text{CL}_{\text{maxS}}$ , Abb. 5) entsprechend Gleichung 5.22 des Mapping Manual und nach Gleichung 5.26 für die versauernde Wirkung des Stickstoffs ( $\text{CL}_{\text{maxN}}$ , Abb. 6).

Dabei gehen verschiedene chemische Kriterien in die Gleichung ein, die zu unterschiedlichen CL-Werten (Abb. 4) führen: Eine kritische Aluminiumkonzentration (Al, Gleichung 5.29 im Manual), ein Grenzwert für das Verhältnis von basischen Kationen zu Aluminiumionen ( $\text{Bc} / \text{Al}$ , Gleichung 5.31) und ein kritischer pH-Wert (pH, Gleichung 5.35). Das sensitivste Kriterium bestimmt dann den Verlauf der Critical-Load-Funktion und damit die Werte für  $\text{CL}_{\text{max}}(\text{S})$  und  $\text{CL}_{\text{max}}(\text{N})$ . Am Beispielstandort Forellenbach (Abb. 4) ist das die kritische Aluminiumkonzentration.

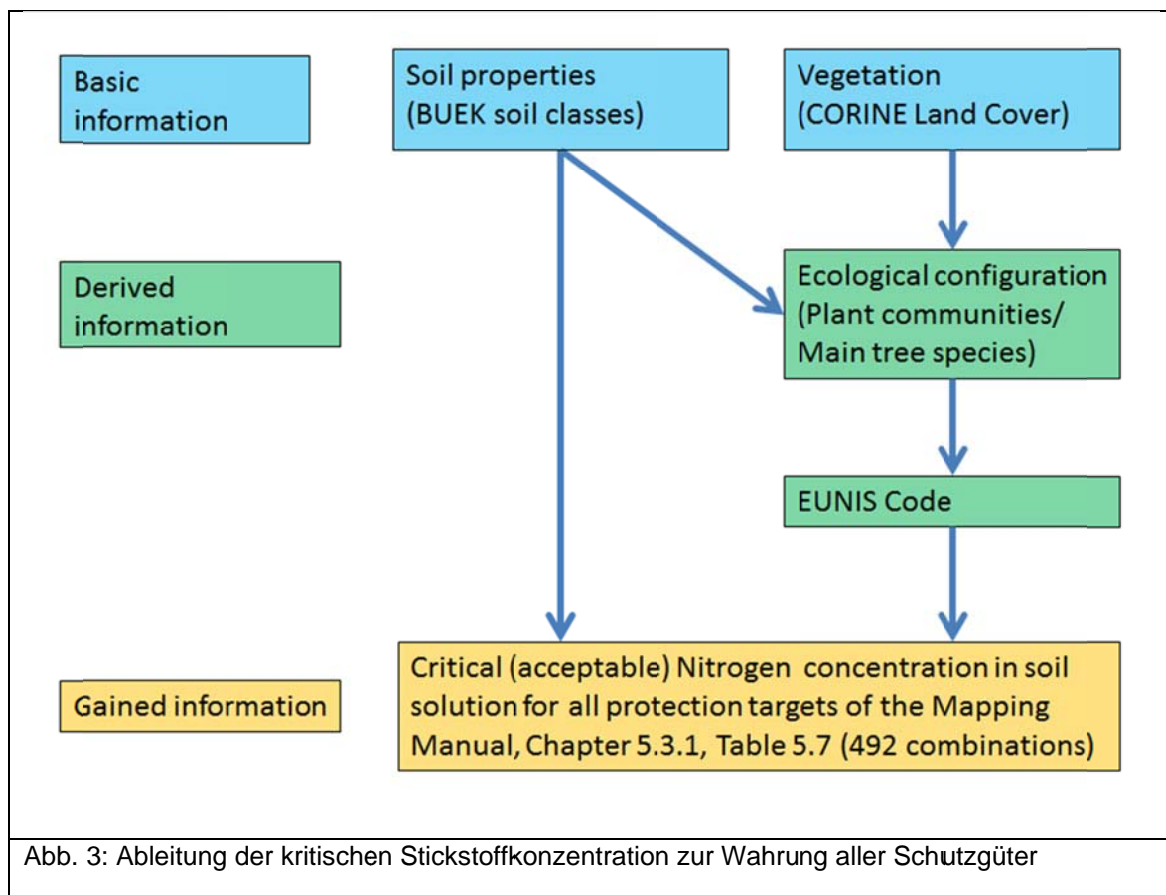
### **2.2.2 Ermittlung der Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge nach der Massenbilanzmethode**

Stickstoffeinträge wirken nicht nur als Säurebildner sondern liefern auch zusätzliche Nährstoffe ins Ökosystem, wodurch das Nährstoffgleichgewicht gestört werden kann. Dieser Effekt ist als Eutrophierung bekannt. Die zulässige eutrophierende Stickstoffdeposition kann als die Einstellung des Gleichgewichtes zwischen Stoffeinträgen und Stoffausträgen beschrieben werden. Zeitweilige Abweichungen vom Gleichgewichtszustand werden toleriert, solange das System aus sich heraus regenerationsfähig bleibt (quasistationärer Zustand).

Die nach der Massenbilanz (Gleichung 5.5 des Mapping Manual) ermittelten Critical Loads für eutrophierenden Stickstoff ( $\text{CL}_{\text{nutN}}$ , Abb. 7) schließen auch

den Bereich der empirischen Critical Loads (Abb. 8) ein, sind jedoch sehr viel differenzierter und überdecken einen größeren Wertebereich.

Nach dem Mapping Manual gibt es verschiedene Ansätze zur Bestimmung eines tolerierbaren Stickstoffaustrags mit dem Sickerwasser ( $N_{le(acc)}$ ), der durch eine zulässige N-Konzentration im Wasserstrom begrenzt wird und dadurch unterschiedliche CL-Werte ergibt (Abb. 4). Der EU-Grenzwert zum Schutz des Grundwassers (EC target) ist dabei weitaus weniger sensitiv als die Grenzwerte zur Vermeidung von Frostschäden oder Pilzkrankheiten (Sensitivity) oder zum Schutz der Feinwurzelbiomasse (Fine root). Um für einen konkreten Standort im Sinne der Vorsorge das empfindlichste Schutzgut zu berücksichtigen, wurden die im Manual angegebenen Wertespannen (Manual Kapitel 5.3.1.2, Tabelle 5.7) in einem Matrixverfahren (Abb. 3) so den Standortbedingungen zugeordnet, dass grundsätzlich alle Schutzfunktionen eingehalten sind und damit die Ökosystemintegrität (ecosystem integrity, ESI) gewahrt wird (Abb. 4).



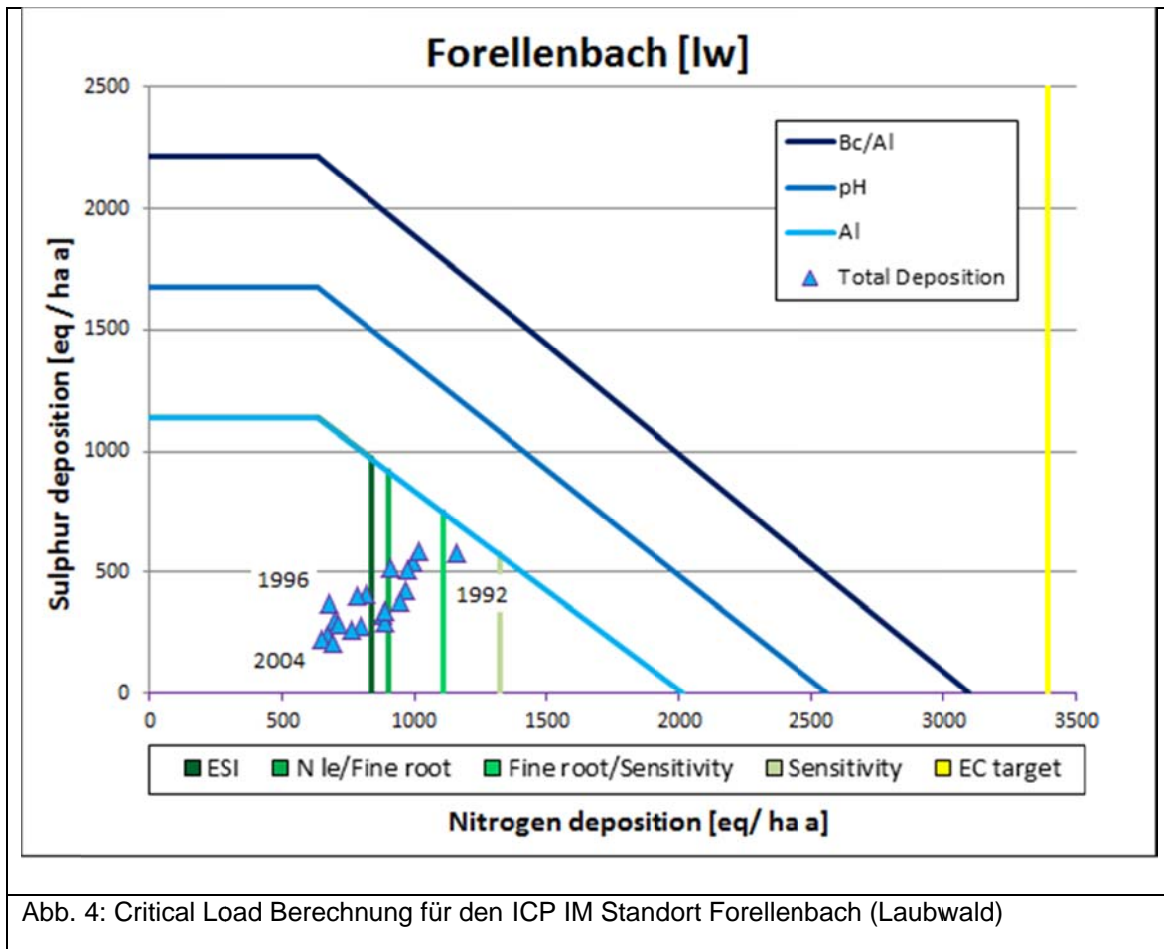
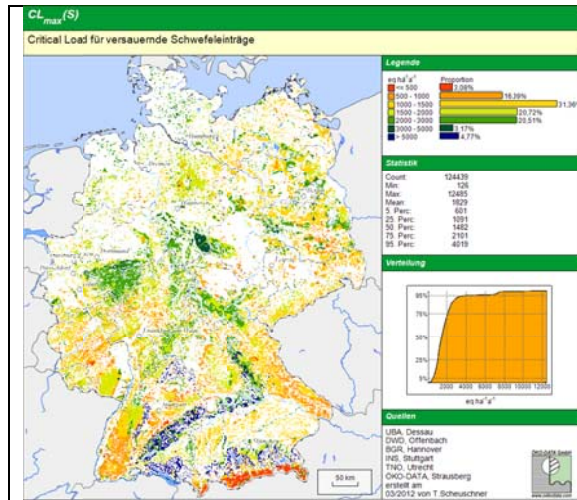
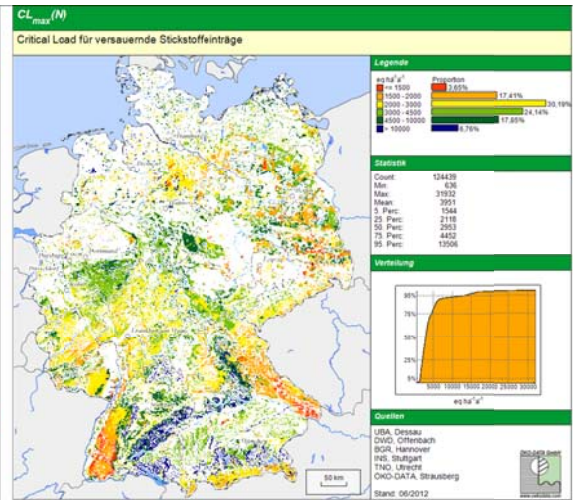
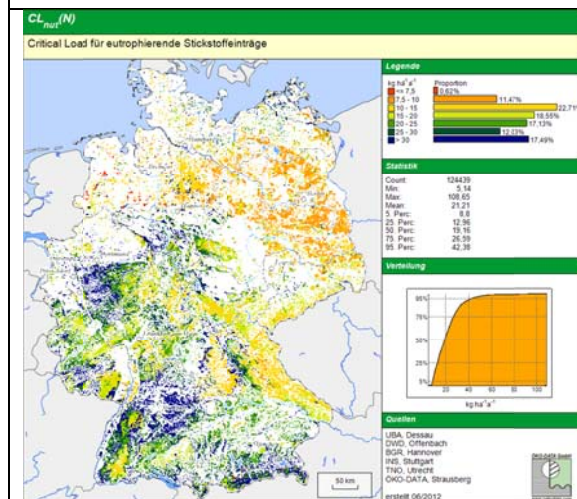
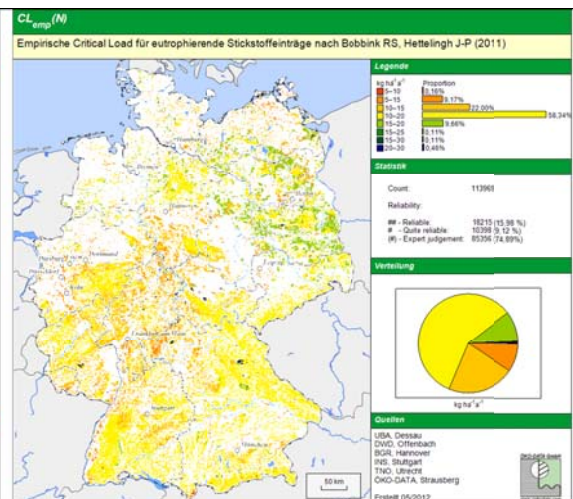


Abb. 4: Critical Load Berechnung für den ICP IM Standort Forellenbach (Laubwald)

### 2.3 Dynamische Modellierung der geochemischen Prozesse unter veränderten Depositionsbedingungen mit dem Modell VSD+

Mit der Critical-Load-Berechnung nach der Massenbilanzmethode wird ein langfristiger Gleichgewichtsansatz (steady-state) angenommen, der jedoch keinerlei zeitliche und prozessbasierte Dynamik berücksichtigt. Daher wurde international eine Reihe von dynamischen Modellen entworfen, die ein genaueres Abbild historischer Entwicklungen und auch Voraussagen über die andauernde Gefährdung oder eine zukünftige Erholung der Ökosysteme ermöglichen.

Abb. 5:  $CL_{max}S$  [ $eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]Abb. 6:  $CL_{max}N$  [ $eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]Abb. 7:  $CL_{nut}N$  [ $kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]Abb. 8:  $CL_{emp}N$  [ $kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]<sup>8</sup>

Verbunden mit dem CFD des CCE wurde den europäischen NFC das geochemische dynamische Modell VSD (2007 - 2009) und VSD+ (ab 2010) zur Verfügung gestellt und vom deutschen NFC verwendet. Mit diesem Modell wurde

<sup>8</sup> Empirische Critical Loads werden aus Literaturdaten abgeleitet und geben für verschiedene Ökosysteme Wertespanspannen eines zulässigen Stickstoffeintrags an; in der Bund-Länder-Arbeitsgruppe Immissionsschutz (LAI) wurden die internationalen Empfehlungen an Gegebenheiten in Deutschland angepasst, siehe für Deutschland <http://www.umweltbundesamt.de/luft/downloads/lai-n-leitfaden.pdf> und für Europa unter [http://www.rivm.nl/Bibliotheek/Wetenschappelijk/Rapporten/2011/mei/Review\\_and\\_revision\\_of\\_empirical\\_critical\\_loads\\_and\\_dose\\_response\\_relationships\\_Proceedings\\_of\\_an\\_expert\\_workshop\\_Noordwijkerhout\\_23\\_25\\_June\\_2010](http://www.rivm.nl/Bibliotheek/Wetenschappelijk/Rapporten/2011/mei/Review_and_revision_of_empirical_critical_loads_and_dose_response_relationships_Proceedings_of_an_expert_workshop_Noordwijkerhout_23_25_June_2010)



einerseits gewährleistet, dass vergleichbare Ergebnisse zu den anderen europäischen Ländern erzielt werden (VSD / VSD+ ist Bestandteil der jeweiligen CFD) und andererseits sich kein kostenintensiver zusätzlicher Aufwand hinsichtlich der Datenerhebung ergab, wie er z.B. bei einer Mineralanalyse für das Modell ForSAFE erforderlich würde.

Das VSD-Modell (Very Simple Dynamic Model) ist eine einfache dynamische Erweiterung der Massenbilanzmodelle mit Prozessen wie Kationenaustausch, Stickstoffimmobilisierung oder Nährstoffaufnahme durch die Vegetation. Es beschränkt sich auf wenige Schlüsselprozesse im Ökosystem. Das VSD-Modell besteht aus einer Anzahl von Massenbilanzgleichungen, die die Verhältnisse von Stoffeinträgen in den Boden zu den Stoffausträgen beschreiben. Die Bodenlösungschemie hängt im VSD-Modell ausschließlich von den Nettoeinträgen aus der Atmosphäre und den geochemischen Umsetzungen im Boden (CO<sub>2</sub>-Gleichgewicht, Silikat- und Karbonatverwitterung, Kationenaustausch) ab. Die Wechselwirkungen im Boden werden mit massenstromabhängigen Prozessen wie Pflanzenaufnahme, Verwitterung oder durch Gleichgewichtsreaktionen (z.B. Kationenaustausch) modelliert. Der Austausch von Al, H, Bc (Ca+Mg+K) wird mit Gaines-Thomas- oder Gapon-Gleichungen beschrieben. Seit 2010 können mit dem erweiterten Modell VSD+ auch die Stickstoff- und Kohlenstoffwandlungsprozesse berücksichtigt werden. Das Modell berechnet Zeitschritte von einem Jahr, jahreszeitabhängige Schwankungen sind nicht berücksichtigt.

Für den CFD im Jahr 2012 wurden 4 Standorte, davon 2 aus dem Level-II-Programm des ICP Forests und weitere 2 aus dem Observationsprogramm des ICP Integrated Monitoring, mit dem VSD+-Modell berechnet (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Die Depositionsentwicklung als Eingangsparameter für das Modell ergab sich aus der Kalibrierung von aktuellen national modellierten Einträgen (LOTOS-EUROS-Modell; MAPESI 2007) mit dem generellen historischen Trend, der dem VSD+-Modell zugrunde liegt. Einen typischen Verlauf zeigt z.B. der Level II Standort 301 (Lüss in Niedersachsen, Abb. 10), wo die Schwefel- und Stickstoff-

feinträge um das Jahr 1980 ihr Maximum erreichten und seit 1990 beim Schwefel sehr schnell, beim oxidierten Stickstoff langsam und beim Ammoniak kaum abnehmen. Die Deposition basischer Kationen nimmt einen ähnlichen Verlauf.

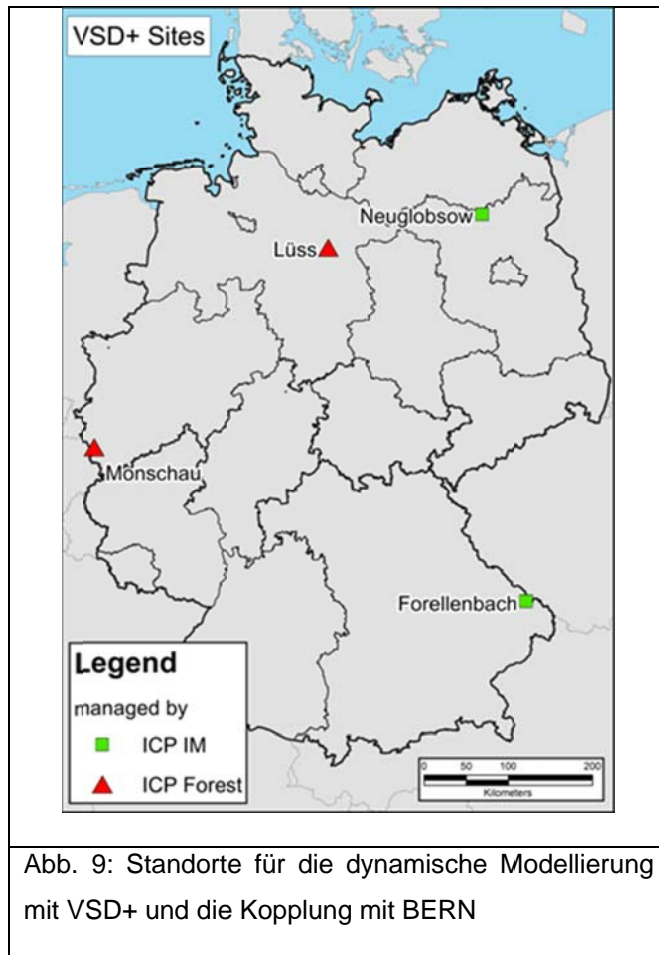


Abb. 9: Standorte für die dynamische Modellierung mit VSD+ und die Kopplung mit BERN

Da keine historischen Messungen von basischen Kationen verfügbar sind bzw. es mit wenigen Ausnahmen diese auch nicht gibt, wird wie im EMEP-Bericht 2004 („EMEP Assessment Part I European Perspective“, Oslo, Oktober 2004) dargestellt verfahren. Dort wird in Kapitel 5 „Base cations“ auf den negativen Trend basischer Kationen und die Verbindung zu industriellen Emissionen (Schwefel) hingewiesen. Dementsprechend erfolgt eine Kopplung der prozentualen Depositionsverläufe von Schwefel auf Basis des  $50 \times 50 \text{ km}^2$  EMEP-Gitternetzes an die in der

jeweiligen Rasterzelle vorliegende mittlere Deposition basischer Kationen (Messungen oder EMEP).

In die Darstellung der Eingangsdaten und Modellergebnisse (Kurven in der Abb. 10) gehen ebenfalls die an diesem Standort ermittelten Messwerte (blaue Kreuze in Abb. 10) ein.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen bei pH-Wert und Basensättigung als Indikator für die Säureeinträge zunächst die erwartete Versauerung bis etwa zum Jahr 2000 und dann eine leichte Erholung bei Realisierung der bisher beschlossenen Maßnahmen zur Luftreinhaltung.

Die modellierte Entwicklung der C:N-Verhältnisse zeigt sich weniger sensitiv, weist aber im Trend eine Abnahme auf. Die Standorte, die C:N-Verhältnisse um 30 hatten, tendieren gegen ein C:N um 20. Wo bereits dieser Wert erreicht war, ergibt sich keine Veränderung, was mit einer wachsenden Uniformität der Standorte einhergeht.

Auch wenn aus den Ergebnissen dynamischer Modelle immer nur die Trends der Entwicklung und nicht standörtlich gesicherte Vorhersagen ableitbar sind, so bietet sich doch damit die Möglichkeit, verschiedene Szenarien in ihrer Wirkung miteinander zu vergleichen und die Maßnahmen für einen nachhaltigen Umweltschutz zu optimieren.

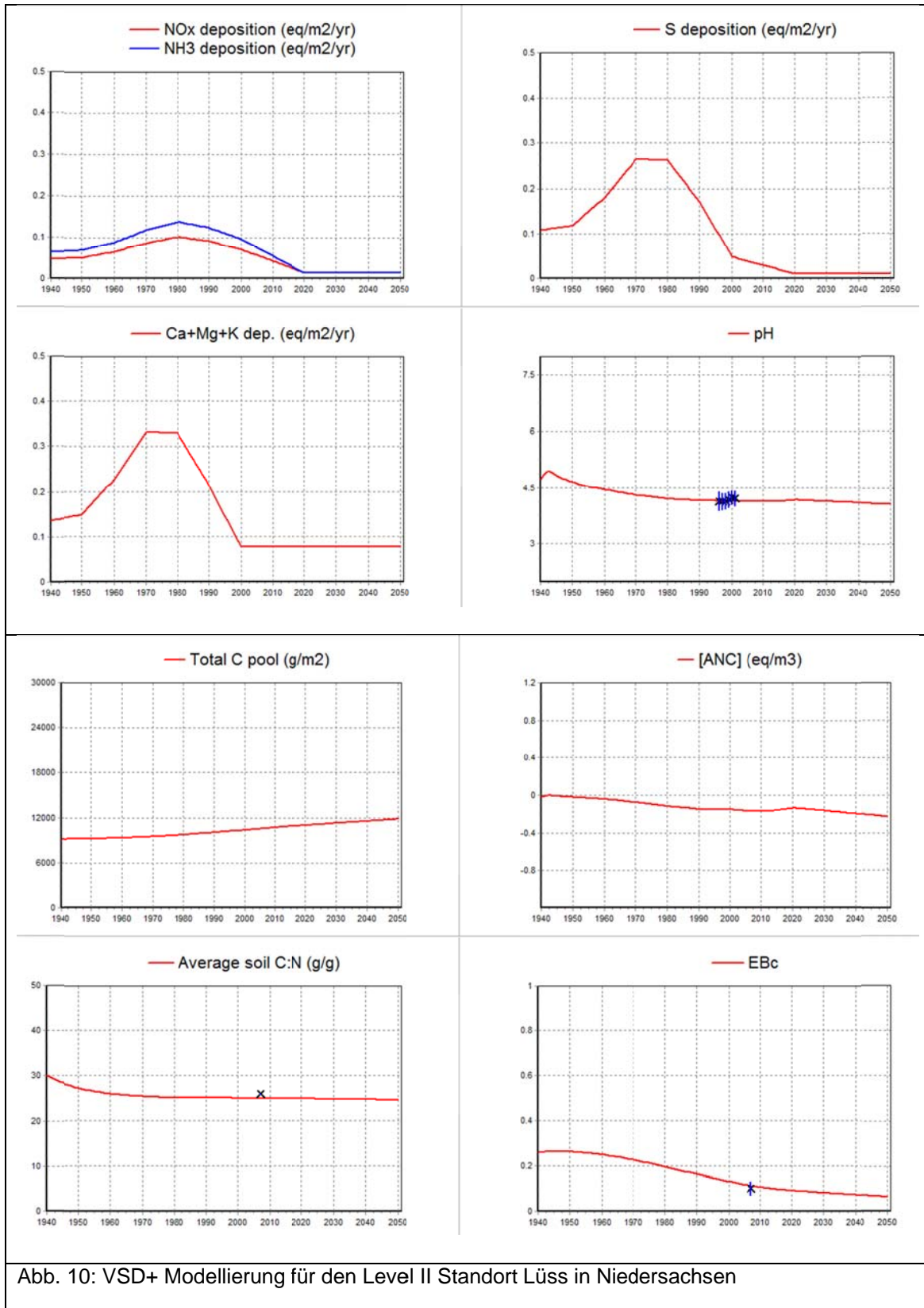


Abb. 10: VSD+ Modellierung für den Level II Standort Lüss in Niedersachsen

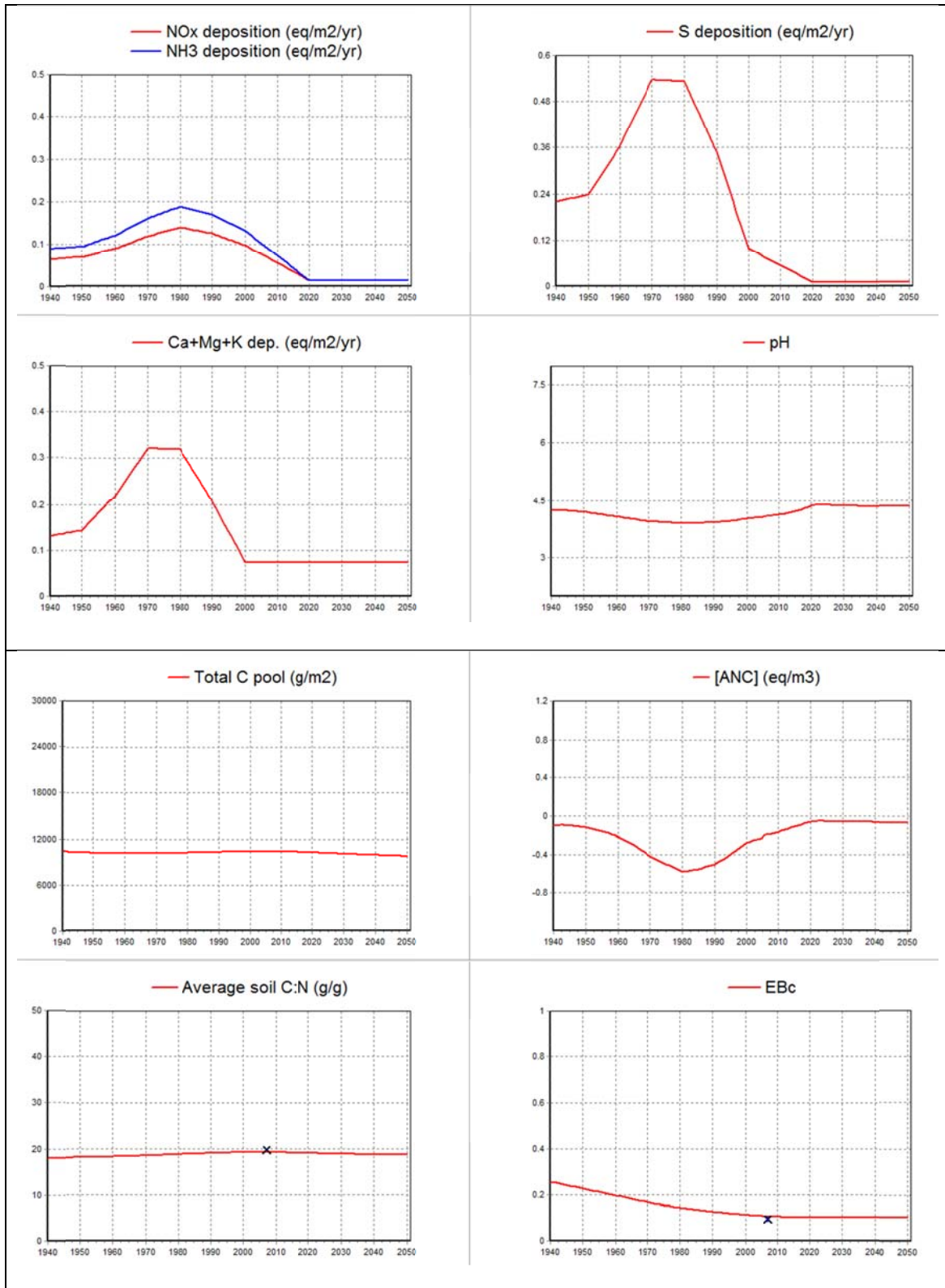


Abb. 11: VSD+ Modellierung für den Level II Standort Monschau in Nordrhein-Westfalen

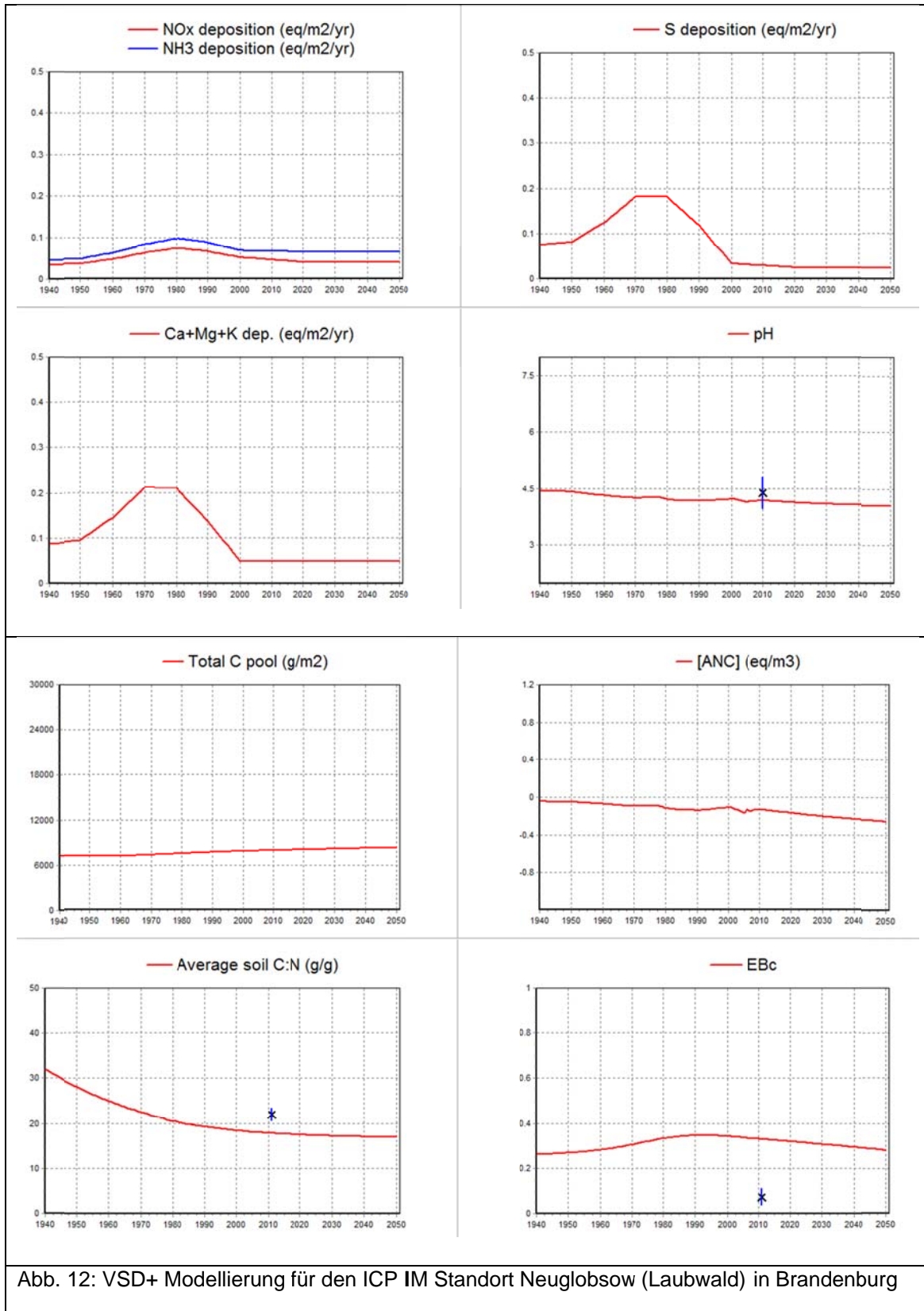


Abb. 12: VSD+ Modellierung für den ICP IM Standort Neuglobsow (Laubwald) in Brandenburg

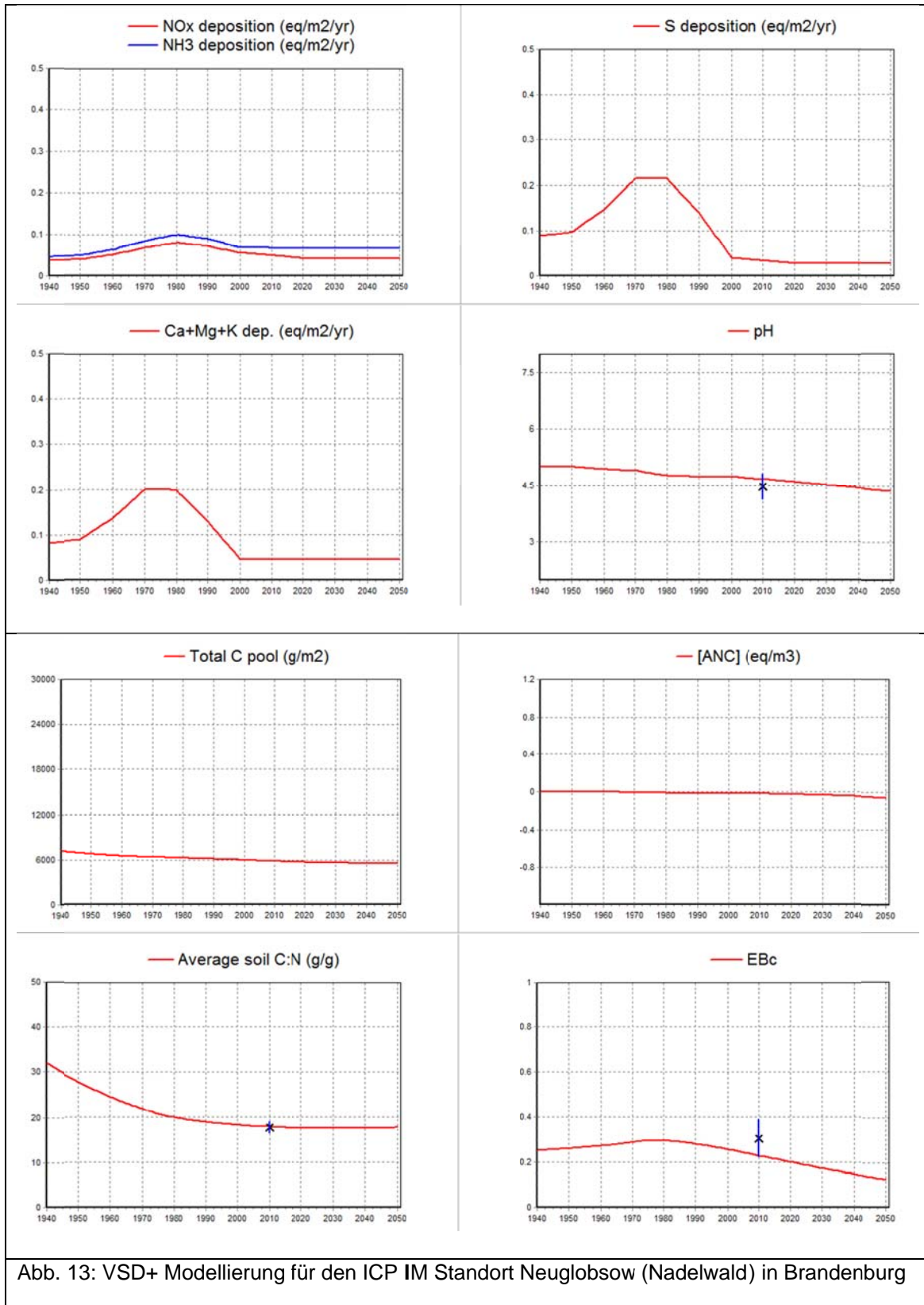


Abb. 13: VSD+ Modellierung für den ICP IM Standort Neuglobsow (Nadelwald) in Brandenburg

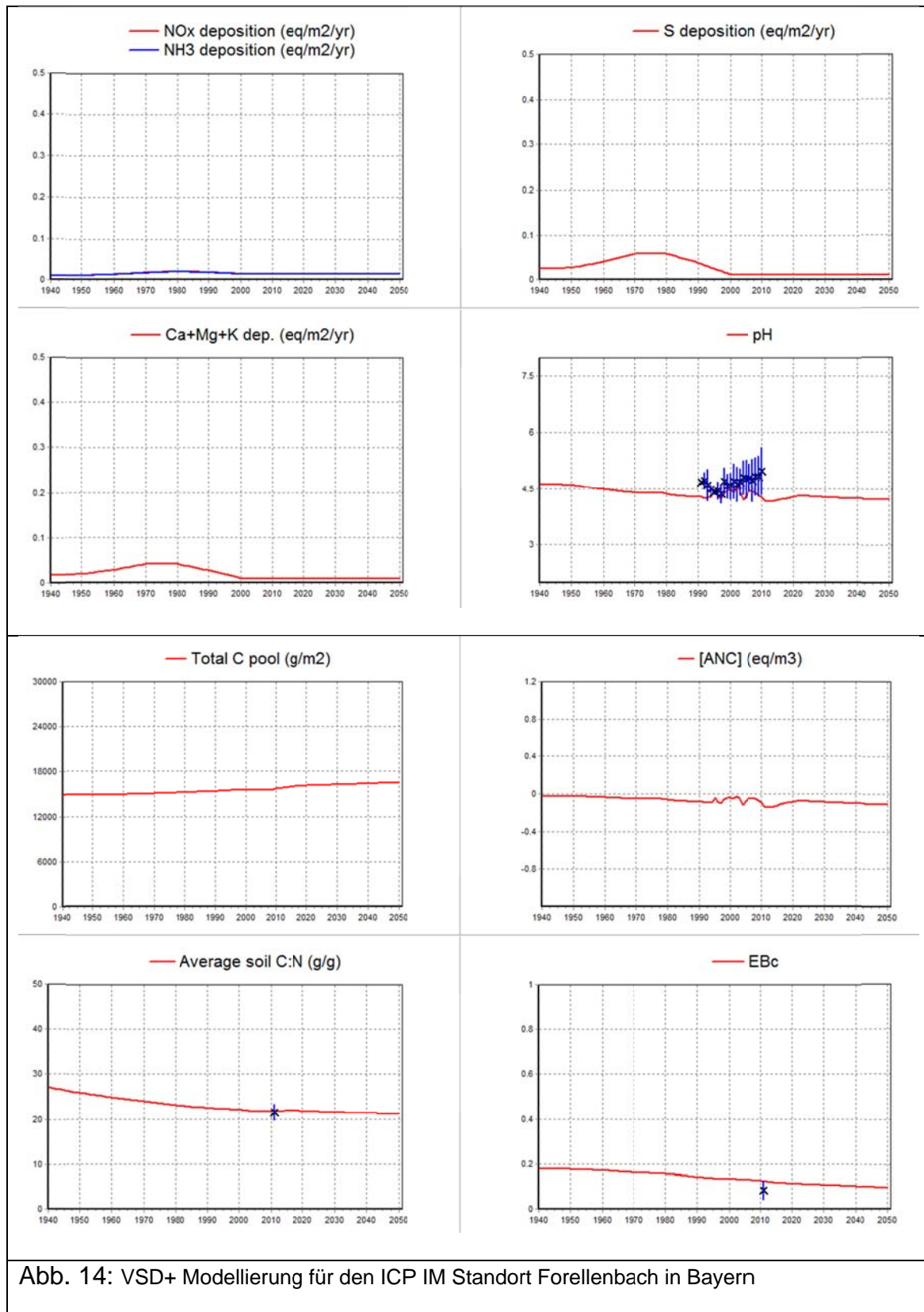


Abb. 14: VSD+ Modellierung für den ICP IM Standort Forellenbach in Bayern



## 2.4 Dynamische Modellierung der ökosystemaren Effekte von veränderten Depositionen mit dem BERN-Modell

Zur Ermittlung ökosystemarer Zusammenhänge zwischen den biotischen Komponenten und anthropogener Schadstoffeinträge wurde das bei ÖKO-DATA entwickelte BERN-Modell<sup>9</sup> verwendet. Als Indikatoren (biological endpoints) unter sich verändernden Depositionsbedingungen wurden getestet

- Veränderung der Artenzahl (species richness);
- Gleichheit / Veränderung (similarity) in Bezug auf die am Standort vorgefundenen Arten (conservative selection);
- Gleichheit / Veränderung (similarity) in Bezug auf die zu schützenden Arten (deterministic selection); Artenspektrum der am Standort als Schutzziel festgelegten Vegetationsgesellschaft bzw. des vorkommenden FFH-Lebensraumtyps (LRT).

Zur Bestimmung der Gleichheit bzw. Veränderung wurde der Sørensen-Index (SI) genutzt (siehe CCE Status Report 2010, Annex 4A p53):

$$SI = \frac{2 \sum_{i=1}^n \min\{x_i, y_i\}}{\sum_{i=1}^n \{x_i + y_i\}}$$

$X_i$  Anzahl der Arten an Standort X bzw. beim Zustand X

$Y_i$  Anzahl der Arten an Standort Y bzw. beim Zustand Y

Bei den durchgeführten Berechnungen wurden nicht verschiedene Standorte verglichen, sondern verschiedene Zustände an einem Standort. Standort X bzw. Zeitpunkt X ist die Summe der Möglichkeiten der betrachteten Arten und Zeitpunkt Y ist der bestmögliche Zustand der betrachteten Arten. Wenn also alle Arten des Sets eine Möglichkeit von 1 besitzen wäre der SI ebenfalls 1, wenn

---

<sup>9</sup> Bioindikative Ermittlung von Regenerationspotentialen Naturnaher Ökosysteme, <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3909.html>

keine Art des Set am Standort vorkommt bzw. eine Möglichkeit von 0 hat, wäre der Index 0. Das Set der betrachteten Arten setzt sich nun zusammen aus:

- A: den tatsächlich gefundenen Arten zum Erhebungszeitpunkt (konservative Betrachtung)
- B: den Arten, die nötig wären, um eine (semi-) natürliche Pflanzengesellschaft zu bilden (deterministische Betrachtung)

Die dynamische Entwicklung der bodenchemischen Parameter C:N-Verhältnis, pH-Wert und / oder Basensättigung, also die Ergebnisse der Modellierung mit VSD+, werden dabei als Eingangsdaten für das BERN-Modell genutzt (Abb. 10 bis Abb. 14).

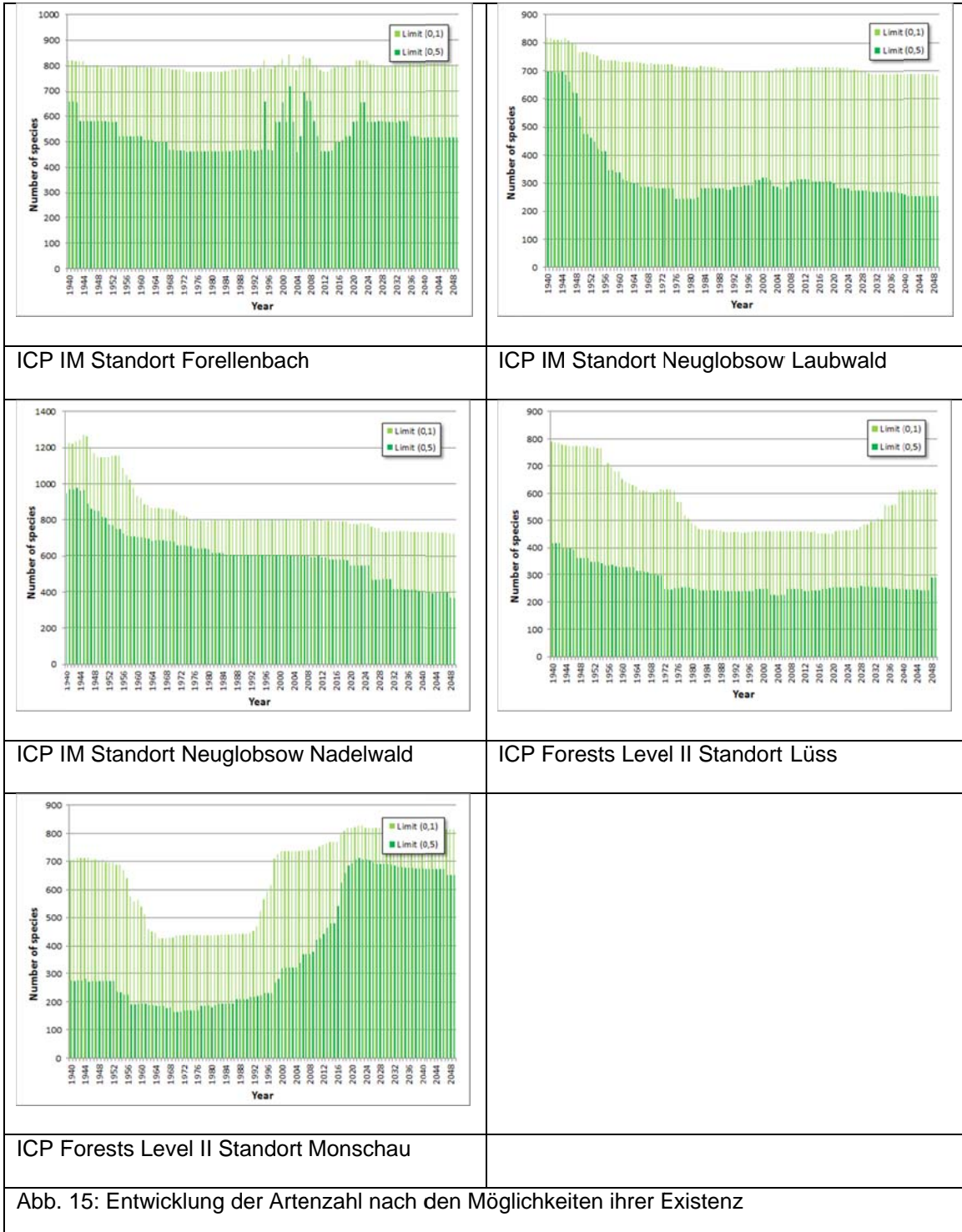
Datenbasis des BERN-Modells bildet die Zuordnung von Parameterspannen geoökologischer Standortfaktoren im Referenzzustand zu naturnahen / halbnatürlichen Pflanzengesellschaften und standorttreuen Arten. Die Datenbank enthält gegenwärtig die ökologischen Nischen für 1.918 Arten. Um nicht exakt erfassbares Expertenwissen in exakte mathematische Formeln umformen zu können, bedient sich das BERN-Modell des Ansatzes unscharfer Beziehungen (fuzzy logics) zwischen Standorttypen und Pflanzenarten unter Berücksichtigung empirisch ermittelter Kenntnisse über die Pflanzen-Physiologie und die Pflanzen-Konkurrenz.

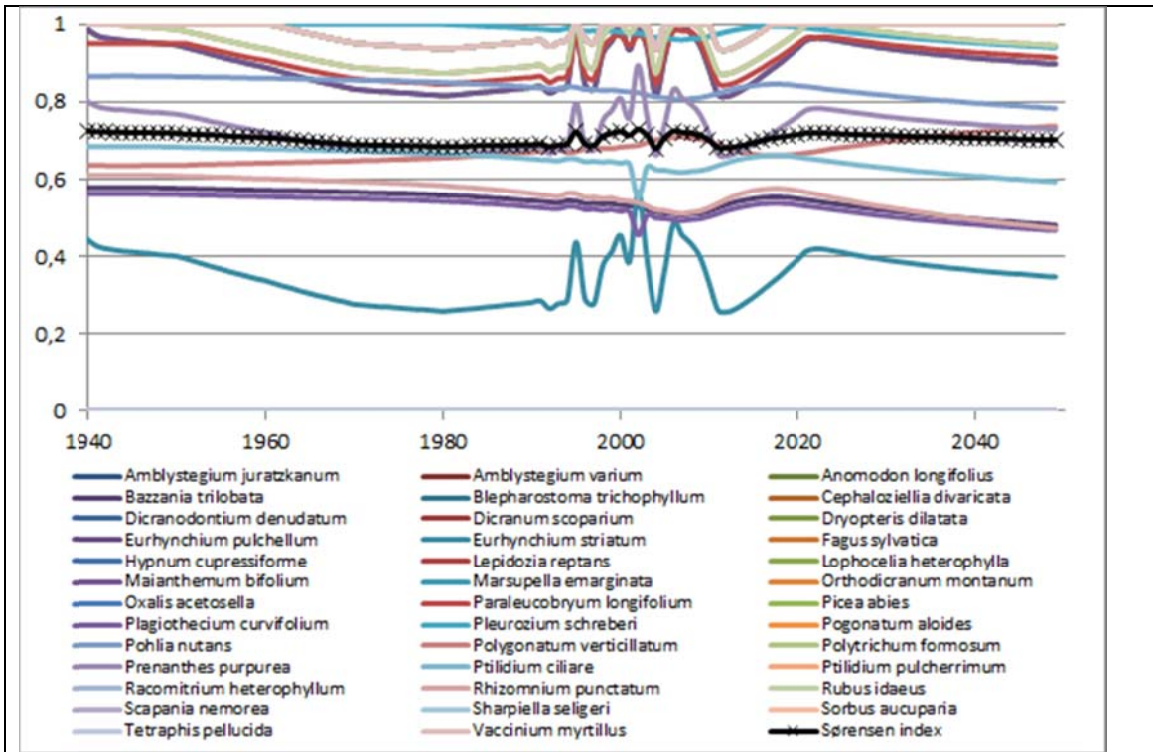
Die Datenbasis des BERN-Modells ermöglicht die Ermittlung der aktuellen ökosystemaren Regenerierungspotenziale, der aktuellen floralen Biodiversität sowie von möglichen Regenerierungszielen, die Rekonstruktion und Prognose des Vegetationswandels in Abhängigkeit von der Nutzungs- und Depositionsgeschichte bzw. deren Zukunftsszenarien und der Prognose des Klimawandels. Die Erarbeitung von Zielvorstellungen zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung der natürlichen Biodiversität basiert auf den im Abschnitt 2.3 vorgestellten Ergebnissen dynamischer geochemischer Modelle für die zukünftige Entwicklung der veränderlichen Standortbedingungen; Szenarien der Depositionsentwicklung

können ebenso berücksichtigt werden wie Klimaveränderungen und veränderte Nutzung.

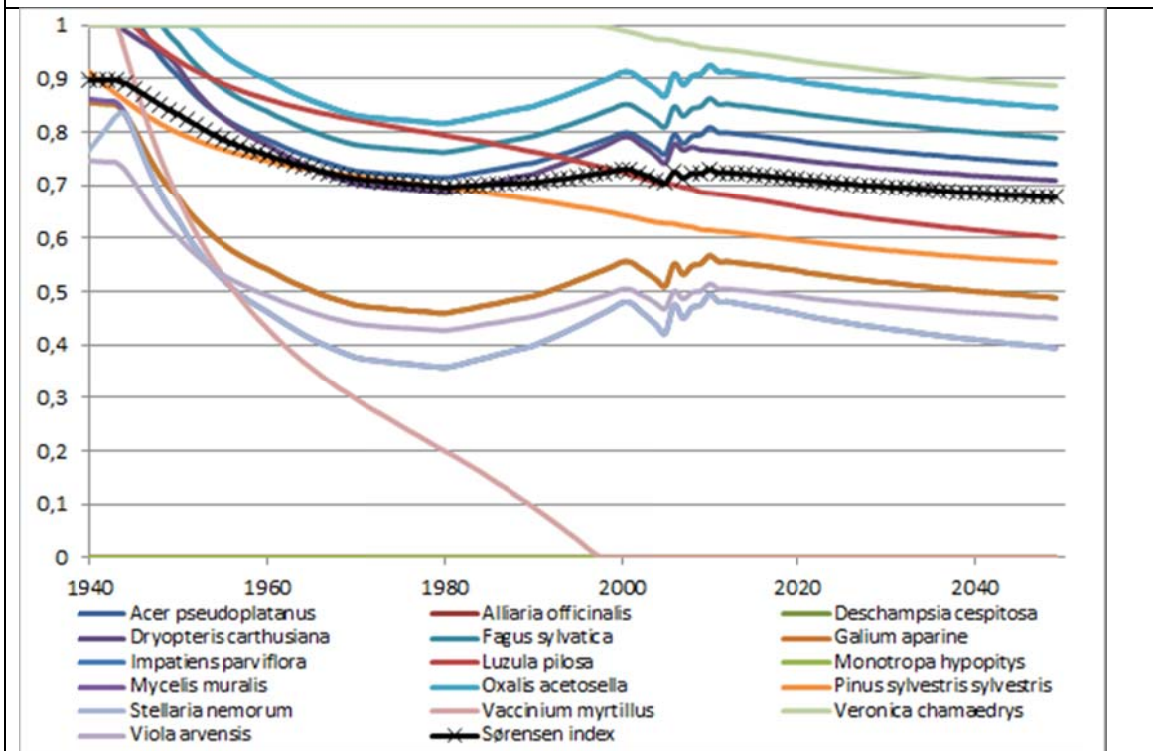
Die Veränderung in der Artenzahl (species richness) ergibt sich allein aus den Möglichkeiten der Pflanzenarten, in dem Wertebereich der gewählten abiotischen Faktoren zu existieren (Abb. 15). Bei einer Existenzmöglichkeit von 0,1 (unter 0,1 muss die Art als stark gefährdet gelten) gibt BERN am Standort X und für die mit VSD+ modellierten abiotischen Bedingungen (Abb. 11-14) für Y Arten die Möglichkeit einer Existenz an, für das Limit 0,5 (ab 0,5 aufwärts gilt die Art als vital) dementsprechend weniger Arten. Diese quantitative Aussage muss aus naturschutzfachlicher Sicht jedoch kritisch hinterfragt werden, da nicht generell mehr Arten einer höheren ökologischen Wertigkeit entsprechen. So werden nährstoffarme Standorte beispielsweise wenige, aber schützenswerte Arten enthalten während eine Eutrophierung dieses Standorts zwar zu mehr Arten führen könnte, jedoch nicht dem Schutzzweck entspricht.

Zur Ermittlung der Entwicklung des Sørensen-Index mit den am Standort vorgefundenen Arten (conservative selection) wird die Existenzmöglichkeit dieser Arten im Verlauf der Zeit (die abiotischen Faktoren pH-Wert und C:N-Verhältnis verändern sich (Abb. 11-14)) dargestellt. Die Möglichkeitswerte zwischen 1 (ökologisches Optimum) und 0 (Pessimum) können gleichzeitig auch als Ausdruck von Stabilität bzw. Vitalität der Arten / Pflanzengesellschaften gewertet werden. Der Verlauf des Sørensen-Index ist ein Anzeichen für die Veränderung am Standort. Ein abnehmender Index bedeutet einen Verlust von Arten und / oder einen Verlust von „Lebensqualität“ für diese (Abb. 16).

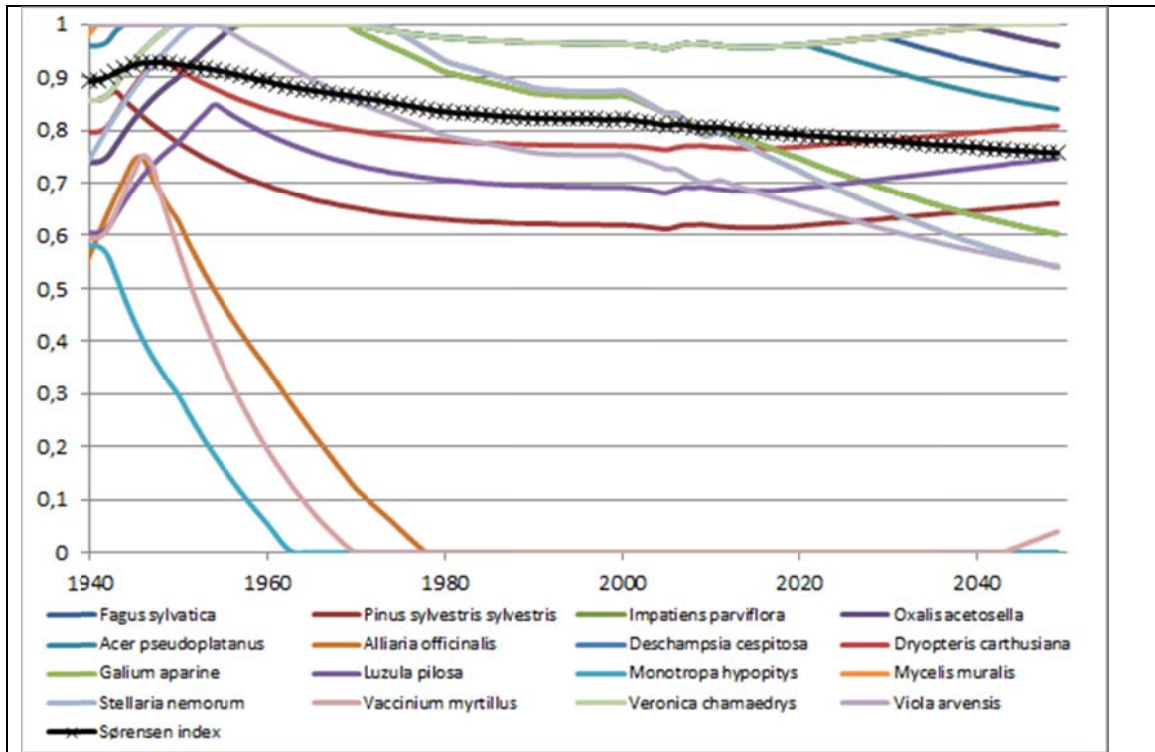




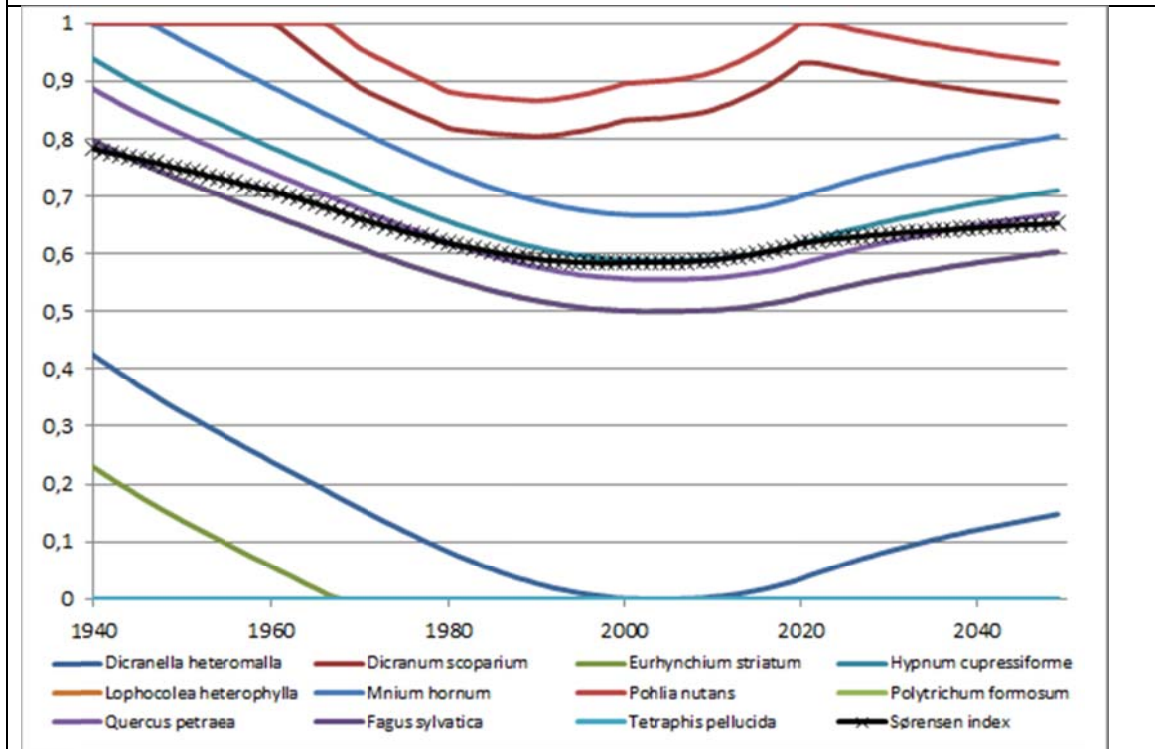
ICP IM Standort Forellenbach



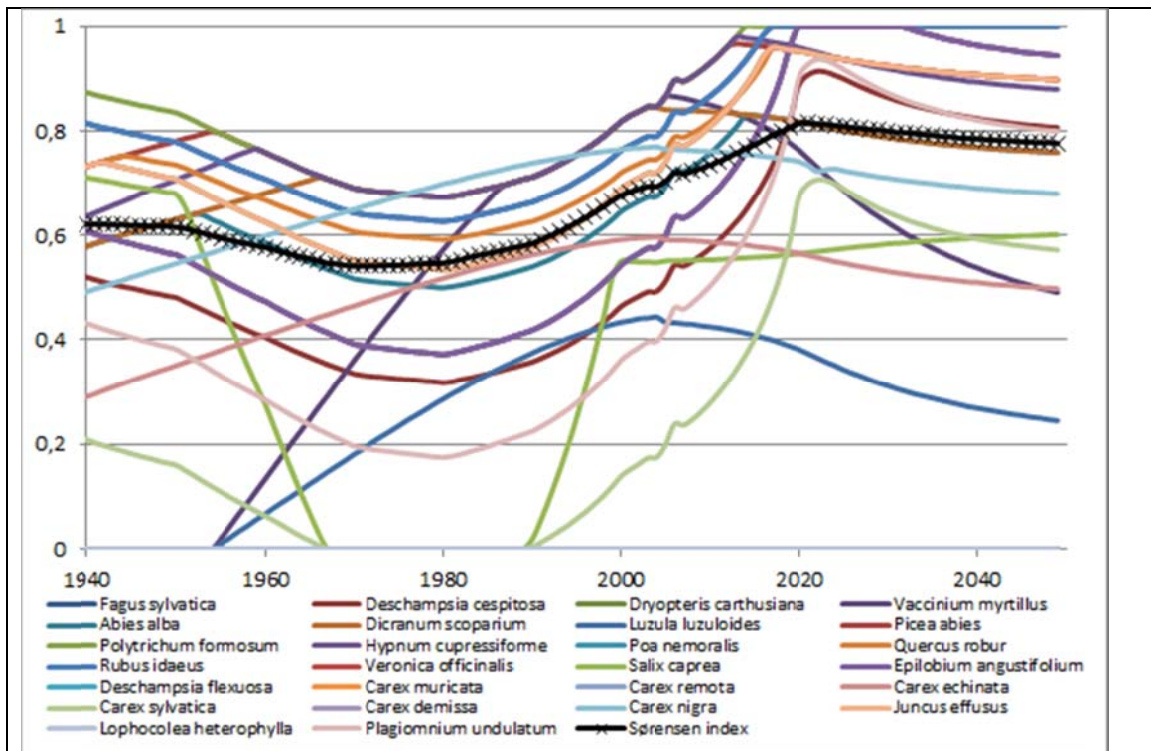
ICP IM Standort Neuglobsow Laubwald



ICP IM Standort Neuglobsow Nadelwald



ICP Forests Level II Standort Lüss



ICP Forests Level II Standort Monschau

Abb. 16: Entwicklung der Existenzmöglichkeitsgrade der vorhandenen Arten an den verschiedenen Standorten und der Sørensen-Index (schwarz schraffierte Linie)

Um die Gleichheit / Veränderung (similarity) in Bezug auf die Arten, die zu der für den Standort als Schutzziel festgelegten Vegetationsgesellschaft bzw. dem in Natura 2000 ausgewiesenen Lebensraumtyp (LRT) gehören (deterministic selection), zu bestimmen, ist Kenntnis über die konkreten Gebietsfestlegungen nötig. Bei dem ICP IM Standort Forellenbach ist der LRT 9110 Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum) ausgewiesen. Den vorhandenen Standortbedingungen entsprechende Vegetationsgesellschaften ergeben sich aus dem BERN-Modell (Abb. 17), denen wiederum die zugehörigen Arten zugeordnet werden können (Abb. 18). Für den Standort Forellenbach weisen die Kurvenverläufe des Existenzmöglichkeitsgrades und der Sørensen-Index auf eine langfristig ökologisch stabile Entwicklung hin. Ein Verlust von Biodiversität ist nicht zu erwarten.

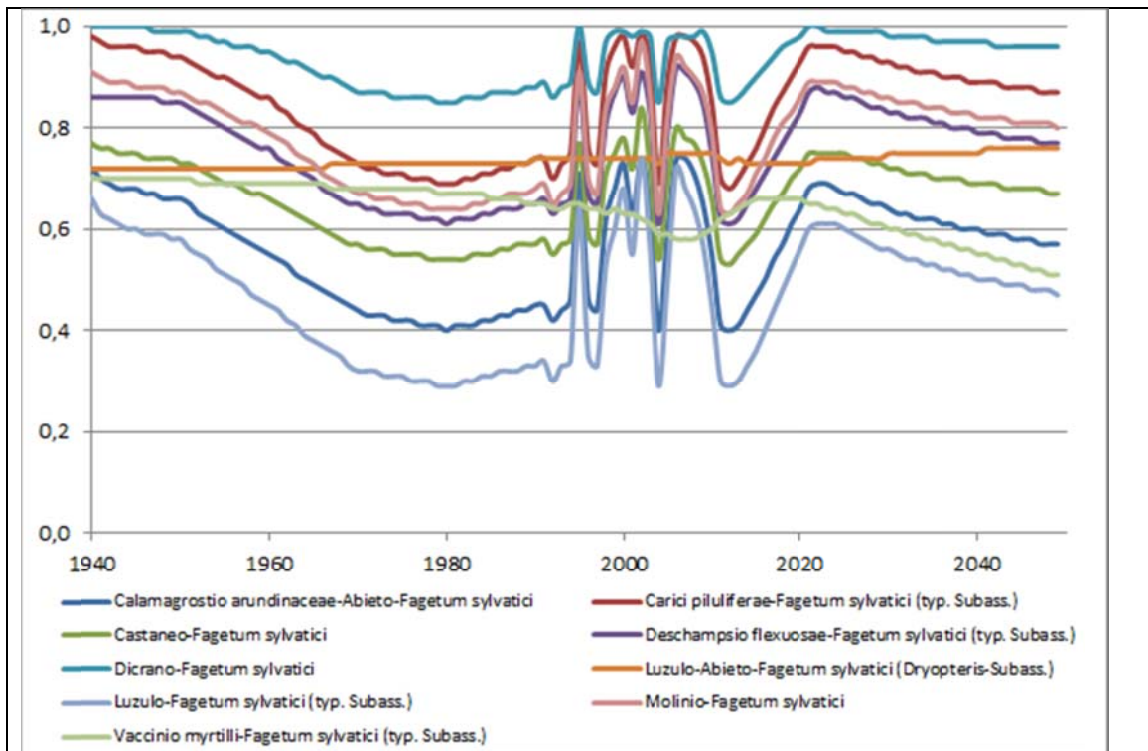


Abb. 17: Existenzmöglichkeiten von Vegetationsgesellschaften am Standort Forellenbach

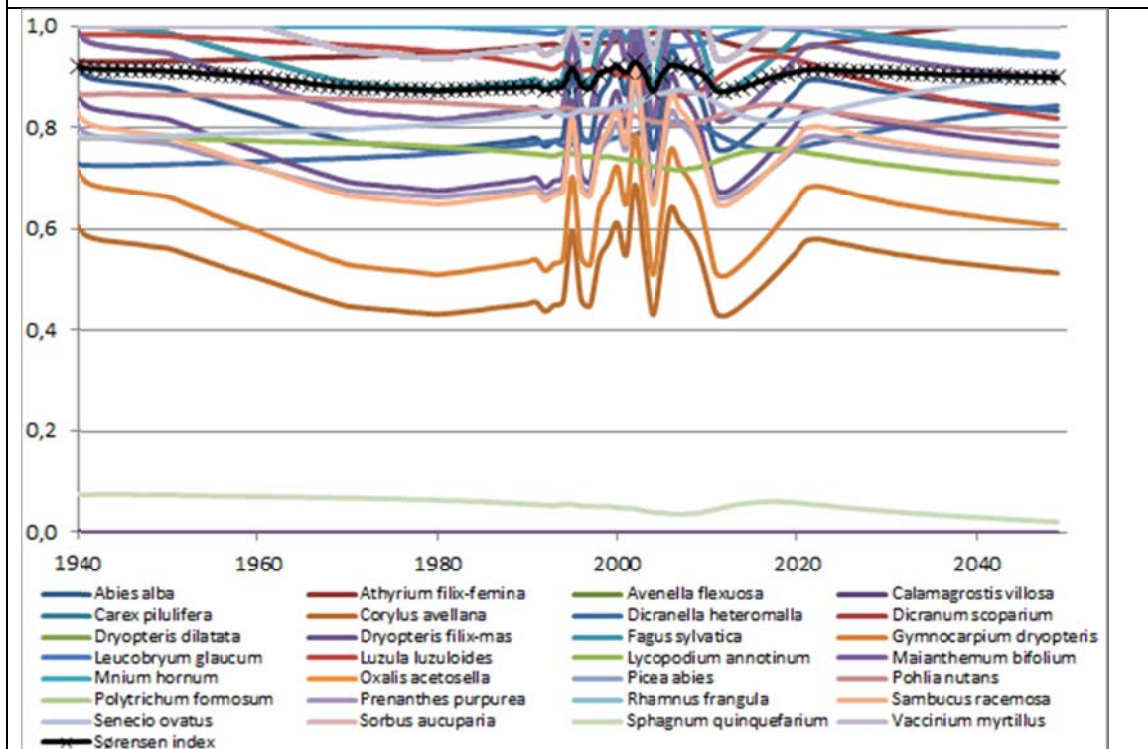


Abb. 18: Existenzmöglichkeiten der Arten am Standort Forellenbach



## 2.5 NFC Report an das europäische Koordinierungszentrum

Die aus 124.439 Datensätzen bestehende deutsche Critical-Load-Datenbank wurde im Accessformat an das Koordinierungszentrum termingerecht übergeben (Tab. 2) und ist in die europäische Kartengrundlage eingegangen. Begleitend wurde ein Report des deutschen NFC erstellt (Anlage 3), der im Status Report des CCE 2012 veröffentlicht wird.

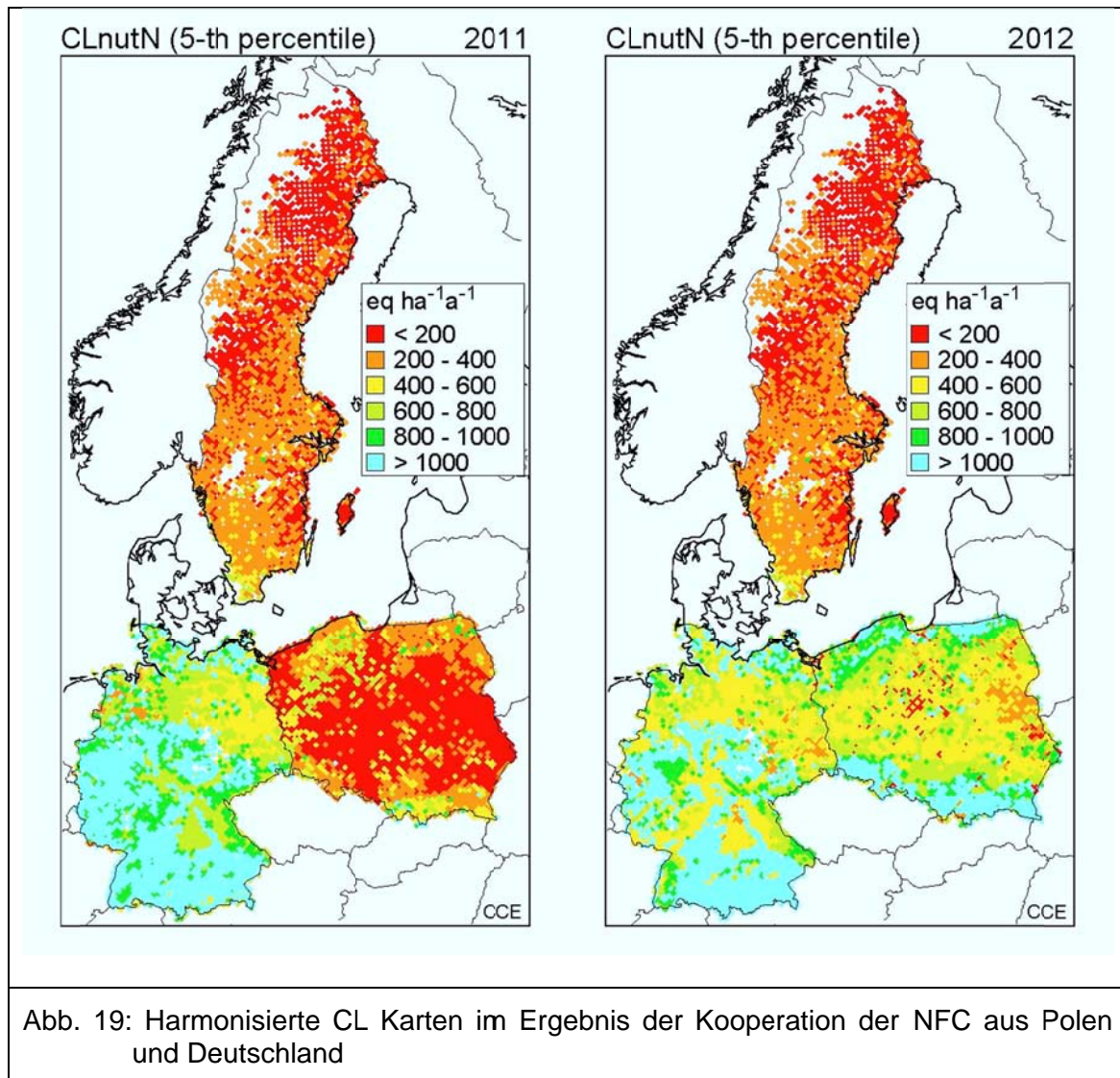
Tab. 2: Datenlieferung der NFC zum Call for Data 2012

		Updated CL		Soil/Veg. modelling (plots)
		Nutrient N	Acidity	
AT	Austria			8
CH	Switzerland			32
<b>DE</b>	<b>Germany</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>4</b>
FR	France			1
IT	Italy			1
NL	Netherlands			4
PL	Poland	X	X	
SE	Sweden	X	X	
SI	Slovenia			2
<b>Total 9</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>

## 2.6 Zusammenarbeit des deutschen NFC mit denen der Nachbarländer

Im Ergebnis des Sub-regional-Workshop, der auf Einladung des deutschen NFC im Oktober 2011 in Strausberg stattfand, wurde die Zusammenarbeit mit den NFC von Polen, der Tschechischen Republik, Rumänien und Österreich fortgesetzt.

Der Abgleich der methodischen Ansätze und der nationalen CL-Daten hat zu einer Harmonisierung der europäischen Datenbasis geführt, wie auf dem TF Meeting des ICP M&M in Warschau festgestellt wurde (Abb. 19).



Bei den Arbeiten zur Verbindung von dynamischen geochemischen mit biologischen Modellen ergab die bilaterale Zusammenarbeit mit dem NFC Österreichs erste Ergebnisse. So stellte das NFC Österreich auf dem CCE-Workshop und dem TF-Meeting Vergleiche zwischen den Biodiversitätsmodellen VEG und BERN vor, aus denen sich eine sehr gute Bewertung für das auf deutscher Seite entwickelte Modell BERN ergab.

### 3 Zusammenfassung

Mit dem Vorhaben wurden wichtige umweltpolitische Ziele auf den Gebieten der Luftreinhaltung unterstützt. Verpflichtungen Deutschlands, die sich aus der UNECE Konvention zu den weiträumigen grenzüberschreitenden Luftverunreinigungen und den zugehörigen Protokollen ergeben, konnten erfolgreich bearbeitet werden. Auf nationaler Ebene können die Ergebnisse des Projekts für die Gefährdungsabschätzung hinsichtlich des Erhalts der Biologischen Vielfalt genutzt werden und zur Aktualisierung des Kernindikatorensystems des UBA beitragen. Mit dem Vorhaben wurden dem internationalen Wissensstand entsprechende Ergebnisse erbracht. Die Modelle und Methoden zur Berechnung der Wirkung von Luftschadstoffen auf die Ökosysteme wurden weiterentwickelt und hinsichtlich ihrer Aussagegenauigkeit verbessert. Es erfolgte eine Aktualisierung des deutschen Critical-Load-Datensatzes für die säurebildenden Luftschadstoffe ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_y$ ) und die eutrophierenden Einträge ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_y$ ) auf Basis neuer Eingangsdaten und weiterentwickelter Methoden. Mit dem erweiterten dynamischen Modell VSD+ erfolgte die Berechnung von geochemischen Parametern für einen Modellierungszeitraum von 150 Jahren (1900 – 2050) an 2 Standorten des ICP Integrated Monitoring und an 2 Level-II-Standorten des ICP Forests. In Zusammenarbeit mit dem CCE wurde das Modell VSD+ getestet, kalibriert und an die Standortbedingungen in Deutschland angepasst.

Zur Entwicklung von europaweit anwendbaren Modellen für die Prognose von Biodiversitätsänderungen in Abhängigkeit von Stickstoffeinträgen, Management und Klimawandel wurde die Kopplung des geochemischen Modells VSD+ mit dem Biodiversitätsmodell BERN realisiert. Daraus abgeleitet erfolgte die Erhebung, Verarbeitung und Aufbereitung relevanter Daten für den Aufbau einer Datenbank der „biological endpoints“, der sensitiven ökologischen Rezeptoren, für die Bewertung von Effekten des sich verändernden Stoffeintrags und des Klimawandels für Deutschland. Das BERN-Modell kann nunmehr mit insgesamt 8 Parametern (Basensättigung, pH-Wert, C:N-Verhältnis, Temperatur, klimatische Wasserbilanz, Bodenfeuchte, Vegetationszeitlänge und Solarstrahlung)

einzelnen oder im Zusammenspiel sich daraus ergebende Veränderungen der Vegetationsgesellschaft bzw. einzelner Arten modellieren. Für die vorgesehene europaweite Anwendung ist noch zu testen, ob die bisherigen Standorteigenschaften der Eingangsdaten in BERN, die sich ja schon über weite Teile Mitteleuropas erstrecken, auch alle großen Klima- bzw. Vegetationszonen abdecken können.

Die deutschen Critical-Load-Daten wurden in das europäische Datenmodell eingebunden, es erfolgte eine Datenlieferung an das CCE entsprechend des Call for Data. Zusammen mit den Daten wurde ein nationaler Report erstellt und übermittelt, der in den CCE Status Report 2012 aufgenommen wird. Die verwendeten Methoden und Modelle (SMB, VSD+ / BERN) wurden dokumentiert. Für den Call for Data erfolgte auch eine Zuordnung von empirischen Critical Loads für Stickstoff zu den betreffenden Ökosystemtypen entsprechend der Ergebnisse des dazu im Juni 2010 durchgeführten internationalen Workshops.

Das deutsche NFC beteiligte sich am CCE-Workshop und dem Task-Force-Meeting in Warschau (Polen). Vorgestellt wurden die in Deutschland erzielten Ergebnisse, darunter der wissenschaftliche Ansatz zur Bestimmung von Critical Loads für FFH-Gebiete. Dank einer aktiven Diskussionsbeteiligung wurden wesentliche Standpunkte des deutschen NFC in die Konferenzdokumente aufgenommen. Mit den NFC von Polen, der Tschechischen Republik, der Republik Rumänien und Österreichs erfolgte ein intensiver Austausch von Erfahrungen und Methoden.

Anlagen:

1. Call for Data / Contributions 2011/12
2. Matrix of the biodiversity targets from the EU biodiversity strategy to 2020 (by row) and the SEBI 2010 indicators (by column)
3. NFC Report Germany
4. Deutscher Critical Load Datensatz 2012