

# **Gutachterliche Stellungnahme zur FFH-Verträglichkeit im Rahmen des Änderungsgenehmigungsantrages für die Erweiterung des Heizkraftwerkes im Industriepark Höchst durch den Gasturbinenneubau E 536**

14.08.2019

auf Anfrage der

Infraserv GmbH & Co. Höchst KG  
Industriepark Höchst

Bearbeitung durch



herne • münchen • hannover • berlin

[www.boschpartner.de](http://www.boschpartner.de)

**Auftraggeber:**

**Infraserv GmbH & Co.  
Höchst KG**

Industriepark Höchst  
Gebäude C7706  
65926 Frankfurt Main

**Bieter:**

**Bosch & Partner GmbH**  
[www.boschpartner.de](http://www.boschpartner.de)

Kirchhofstr. 2c  
44623 Herne

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Anlass und Aufgabenstellung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Abgrenzung des Untersuchungsumfangs .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Grundsätze und Maßstäbe zur Beurteilung der Wirkungen von versauernden und eutrophierenden Stoffeinträgen in FFH-Gebiete .....</b>	<b>6</b>
3.1	Grundlagen des Konzepts der Critical Loads und Levels .....	7
3.2	Anwendbarkeit der Critical Loads als Maßstab für die FFH-Verträglichkeitsprüfung .....	8
3.3	Beurteilungsmaßstäbe, Abschneidekriterium und Bagatellschwelle .....	10
3.4	Hinweise zum weiteren Vorgehen .....	14
3.5	Hinweise zu den Zahlenangaben .....	14
<b>4</b>	<b>Gebietsbeschreibung .....</b>	<b>15</b>
4.1	FFH-Gebiet DE 5917-301 „Schwanheimer Düne“ .....	15
4.2	FFH-Gebiet DE 5917-303 „Kelsterbacher Wald“ .....	18
4.3	FFH-Gebiet DE 5917-305 „Schwanheimer Wald“ .....	22
<b>5</b>	<b>Empfindlichkeit der FFH-Gebiete gegenüber Stickstoff- und Säureeintrag .....</b>	<b>27</b>
5.1	Empirische Critical Loads .....	27
5.2	Konkretisierte Critical Loads durch standort- und vegetationstypspezifische Modellierung .....	29
5.2.1	Grundsätze der Modellierung von Critical Loads .....	29
5.2.2	Modellierung in Bezug auf die betroffenen FFH-Gebiete .....	31
5.3	Gewässer-LRT 3140 im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne .....	35
<b>6</b>	<b>Vorbelastung der FFH-Gebiete mit Stickstoff- und Säureeinträgen .....</b>	<b>40</b>
6.1	UBA-Datensatz 2013-2015 .....	40
6.2	Lokale Belastung durch den kapazitiven Flughafenausbau .....	43
6.3	Lokale Belastung durch die Leunastraße .....	46
<b>7</b>	<b>Zusatzbelastung und resultierende Gesamtbelastung mit Stickstoff- und Säureeinträgen .....</b>	<b>48</b>
7.1	Zusatzbelastung durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau .....	48
7.2	Gesamtbelastung der FFH-Gebiete .....	49

---

<b>8</b>	<b>Fachliche Beurteilung .....</b>	<b>52</b>
8.1	Beurteilung auf der Basis empirischer Critical Loads .....	53
8.2	Beurteilung auf der Basis konkretisierter Critical Loads .....	55
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>62</b>

### **Kartenanlagen:**

- Anlage 1a: Karte Stickstoffeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau - Offenland
- Anlage 1b: Karte Stickstoffeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau - Wald
- Anlage 2a: Karte Säureeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau - Offenland
- Anlage 2b: Karte Säureeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau - Wald
- Anlage 3: Ingenieurbüro Lohmeyer (2019): Immissionsprognose – Erweiterung Heizkraftwerk Industriepark Höchst (Juli 2019).
- Anlage 4: IBE/ÖKO-DATA (2019): Teilgutachten zur FFH-Verträglichkeit der Auswirkungen von eutrophierenden und versauernden Fremdstoffdepositionen des geplanten Gasturbinen-Heizkraftwerkes Höchst auf die Erhaltungsziele der geschützten FFH-Lebensraumtypen in den FFH-Gebieten „Kelsterbacher Wald“, „Schwanheimer Düne“ und „Schwanheimer Wald“ (März 2019)
- Anlage 5: PGNU – Planungsgesellschaft Natur & Umwelt mbH (2018): Wiederholung von Vegetationsaufnahmen in den FFH-Gebieten Schwanheimer Düne, Schwanheimer Wald und Kelsterbacher Wald (Dezember 2018).

## 1 Anlass und Aufgabenstellung

Die Firma Infracore GmbH & Co. Höchst KG betreibt im nördlichen Teil des Industriepark Höchst ein Heizkraftwerk zur Versorgung der dort ansässigen industriellen Kunden mit thermischer Energie (Dampf) und elektrischer Energie (Strom). Das Heizkraftwerk ist wärmegeführt, d. h. die benötigte Dampfmenge im Industriepark regelt die Leistung des Kraftwerks.

Infracore Höchst beabsichtigt nun mit einer hoch effizienten KWK-Lösung (Kraft-Wärme-Kopplung) die Energieeffizienz weiter zu verbessern und die Stromerzeugung der Volatilität des Stromnetzes anzupassen. Dazu soll in unmittelbarer Nähe zum Kraftwerk D 580 der Gasturbinenneubau E 536 entstehen, der aus zwei erdgasbefeuerten Gasturbinen mit jeweils bis zu ca. 260 MW<sub>th</sub> Feuerungswärmeleistung (je bis zu 97 MW<sub>el</sub> elektrische Leistung) und zwei nachgeschalteten, mit Erdgas zusatzgefeuerten Abhitzedampferzeugern (AHDE) besteht. Der erzeugte Dampf wird über bestehende Dampfturbinen zur Stromerzeugung genutzt und anschließend in das bestehende Dampfnetz eingespeist.

Gegenstand des Antrages nach § 16 BImSchG ist die **Änderung bzw. Erweiterung des bestehenden Heizkraftwerks D 580** durch

- Neubau von zwei mit Erdgas betriebenen Gasturbinen (GT-X7 und GT-X8) mit jeweils bis zu ca. 260 MW<sub>th</sub> Feuerungswärmeleistung und einer elektrischen Leistung bis zu jeweils 97 MW<sub>el</sub>;
- Neubau von zwei nachgeschalteten, mit Erdgas zusatzgefeuerten Abhitzedampferzeugern (AHDE) mit einer Dampfleistung im Kombibetrieb von jeweils bis zu ca. 200 t/h Frischdampf bei 121 bar<sub>a</sub>. Mit einer Feuerungswärmeleistung von jeweils ca. 130 MW<sub>th</sub> können die AHDE auch ohne die Gasturbinen betrieben werden;
- Neubau der notwendigen Nebenanlagen inkl. Gasreduzierstationen, Speisewasserbehälter und EMSR- Gebäude;
- Anschluss an und Nutzung von bestehenden Infrastruktureinrichtungen des Heizkraftwerks D 580 (Leitwarte, Speisewasserversorgung, Dampfturbinen).

Die Inbetriebnahmephase (Probetrieb über 6 Monate) der beantragten Betriebseinheiten erfolgt unter gleichzeitiger Nutzung der bestehenden Betriebseinheiten des Heizkraftwerks (inklusive Kohlefeuerung). Die Betriebszeit des Reservebetrieb der bestehenden Gasturbinen GT-X2 oder GT-X3 wird ab dem Inbetriebnahmejahr von 1000 h/a auf maximal 200 h/a reduziert.

Nach Abschluss des Probetriebs (= erstmalige Betriebsaufnahme zum vorgesehenen Zweck) werden die Kohle-befeuerten Kessel 3 und Kessel 4 des bestehenden Heizkraftwerks außer Betrieb genommen.

Mit der folgenden FFH-Verträglichkeitsprüfung wird unter Berücksichtigung des aktuellen Wissensstandes und der neueren Rechtsprechung geprüft, ob das um den Gasturbinenneubau E 536 erweiterte Heizkraftwerk im Industriepark Höchst im Sinne des § 34 BNatSchG erhebliche Beeinträchtigungen in den benachbarten Natura 2000-Gebieten auslöst. Dieser FFH-Prüfung werden als anlagenbezogene Zusatzbelastungen diejenigen Immissionen bzw.

---

Depositionen zugrunde gelegt, die von den gesamten Kraftwerksanlagen inklusive Gasturbinenneubau im ausgebauten Betriebszustand ausgehen (Planfall ohne Betrieb Kohlekessel 3 und 4 und mit realen Schornsteinhöhen 80 m für den Gasturbinenneubau E 536).

## **2 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs**

Da das Vorhaben im Industriepark Höchst angesiedelt ist, sind ausschließlich indirekte Wirkungen auf benachbarte Natura 2000-Gebiete denkbar. Wirkungen durch Lärm oder Erschütterungen können aufgrund der Entfernung ausgeschlossen werden. Potenziell denkbar sind aber negative ökosystemare Wirkungen aufgrund der mit dem Vorhaben verbundenen betriebsbedingten stofflichen Immissionen, auf die sich im Folgenden die Prüfung beschränkt. Eine besondere Rolle spielen dabei eutrophierend oder versauernd wirkende stickstoffhaltige oder schwefelhaltige Verbindungen, für die die Rechtsprechung des BVerwG in jüngster Zeit den Maßstab der Critical Loads zur Anwendung auch in FFH-Gebieten als angemessen ansieht. Für andere Stoffe gibt es keine Anhaltspunkte, die eine nähere Prüfung rechtfertigen.

Die hier vorgelegte FFH-Verträglichkeitsprüfung basiert auf aktuellen Immissions- und Depositionsprognose aus dem Jahr 2019 (siehe Anlage 3) sowie vorhandenen Unterlagen zu den FFH-Gebieten (Grunddatenerfassung, Standarddatenbogen, Erhaltungsziele gemäß Natura 2000-Verordnung). In die inhaltliche Prüfung einbezogen werden die folgenden drei FFH-Gebiete, die um die geplante Anlage herum liegen:

- DE 5917-301: FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“,
- DE 5917-303: FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“,
- DE 5917-305: FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“.

Das Vogelschutzgebiet DE 5916-402 „Untermainschleusen“, welches mit seinen zwei Teilgebieten etwa 4 km von der geplanten Anlage in östlicher bzw. südwestlicher Richtung liegt, wird nicht näher betrachtet, da sich der Schutzgegenstand in diesem Gebiet auf Vogelpopulationen und nicht auf potenziell stickstoff- oder versauerungsempfindliche Lebensraumtypen erstreckt.

Andere Wälder oder Naturschutzgebiete mit empfindlichen Vegetationsbeständen wie etwa der Niedwald in Frankfurt liegen außerhalb der FFH-Gebietskulisse und werden nicht weiter betrachtet. Erhebliche Beeinträchtigungen durch Stickstoff- oder Säureeinträge können allerdings ohne nähere Betrachtung ohnehin sicher ausgeschlossen werden, da die Zusatzbelastung dort im irrelevanten Bereich liegt.

### **3 Grundsätze und Maßstäbe zur Beurteilung der Wirkungen von versauernden und eutrophierenden Stoffeinträgen in FFH-Gebiete**

Für den stofflichen Ökosystemschutz spielen Stickstoffverbindungen eine besondere Rolle. Stickstoffhaltige Verbindungen werden vor allem in Form von Stickstoffoxiden ( $\text{NO}_2$  und  $\text{NO}$ ) sowie Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) durch den Verkehr, die Landwirtschaft sowie industrielle Feuerungsanlagen emittiert und teilweise weiträumig verfrachtet, bevor ein Eintrag in Ökosysteme durch trockene oder nasse Deposition stattfindet.

Stickstoff ist allerdings kein Schadstoff im eigentlichen Sinn oder gar ein Pflanzengift. Neben Phosphor und Kalium ist Stickstoff der wichtigste Pflanzennährstoff und fördert grundsätzlich das Wachstum von Pflanzen. In natürlichen Landökosystemen in Mitteleuropa stellt Stickstoff in der Regel einen Mangelfaktor für das Pflanzenwachstum dar. Diese ursprünglichen Verhältnisse haben sich aber in den zurückliegenden Jahrzehnten durch diffusen Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen über die Atmosphäre gewandelt. Die langjährig hohen Eintragsraten in natürliche Ökosysteme können insbesondere bei mageren Standorten zu einem erhöhten Nährstoffangebot (Eutrophierung) und dadurch bedingt zu Nährstoffungleichgewichten führen. Die Folgen der Eutrophierung können ungleichmäßiges Pflanzenwachstum, erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Witterungseinflüssen und Schädlingen sowie die Verdrängung nährstoffsensibler Spezialarten durch nährstoffliebende Allerweltsarten sein. Zahlreiche wissenschaftliche Experimente belegen, dass lang anhaltende Stickstoffeinträge langfristig zu nachteiligen Verschiebungen im Artenspektrum von Lebensräumen führen können (siehe z.B. Bobbink et al. 2002; Bernhardt-Römermann et al. 2007). Mittlerweile gehören mehr als 70 % der Rote-Liste-Arten zu den Stickstoffmangel-Zeigern (LAI-Arbeitskreis 2012b).

Nur bedingt zu trennen von den vorgenannten Wirkungen der Stickstoffanreicherung sind die Versauerungswirkungen, die als Folgeeffekt eines erhöhten Eintrags von reduzierten und oxidierten Stickstoffverbindungen auftreten können. Versauernd wirken auch Schwefeleinträge in Ökosysteme als Folge der Schwefeldioxidemissionen. Durch den Einsatz schwefelreduzierter Brennstoffe und die Fortschritte bei der Abgasentschwefelung konnten die versauernd wirkenden Schwefeleinträge deutlich reduziert werden, in der Summe mit den Stickstoffverbindungen tragen die Schwefeleinträge aber immer noch zur Versauerung von Ökosystemen bei. Betroffen von schädlichen Säurewirkungen sind weniger die an Säurearmut angepassten Basenzeiger als vielmehr die bereits natürlicherweise sauren Standorte. Saure Standorte verfügen über kein ausgeprägtes Puffersystem, das zusätzliche  $\text{H}^+$ -Ionen unschädlich abfangen kann. Auf Dauer kann es infolge anhaltender Säureinträge zu einem Mangel an bestimmten Nährstoffen im Boden und zu einer Anreicherung toxisch wirkender Aluminium-Ionen im Boden kommen. Der Beitrag von Chlorwasserstoffemissionen ist gegenüber den Beiträgen von versauernd wirkenden Schwefel- und Stickstoffeinträgen marginal.

Wie nachfolgend näher erläutert wird, hat sich in der Praxis der FFH-Beurteilung von Stickstoff- oder Säureinträgen mittlerweile der Maßstab der Critical Loads etabliert. Daher soll

dieser Maßstab – soweit möglich – auch der nachfolgenden Beurteilung der Stickstoff- und Säureeinträge des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau im Industriepark Höchst zugrunde gelegt werden.

### 3.1 Grundlagen des Konzepts der Critical Loads und Levels

Die Minderung von für die Vegetation schädlichen diffusen Stickstoffeinträgen steht seit mittlerweile 1979 auf der Agenda internationaler und europäischer Umweltpolitik. Grundlage ist das bereits 1979 verabschiedete Genfer Übereinkommen über weitreichende grenzüberschreitende Luftverschmutzungen sowie das 1999 unterzeichnete Göteborg-Protokoll zur Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon. Im Rahmen dieser völkerrechtlichen Vereinbarungen der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) werden seit vielen Jahren auf europäischer Ebene umfassende wissenschaftliche Grundlagen durch einen europäischen Forschungsverbund (International Cooperative Programme ICP on Modelling and Mapping) erarbeitet und laufend im Internet veröffentlicht (siehe v.a. ICP 2004 ff.).

Im Zuge der in diesem Kontext durchgeführten europaweiten Forschungsaktivitäten haben sich die sogenannten „**Critical Loads**“ (im Folgenden kurz „**CL**“) als maßgebliche Kenngröße zur Beurteilung einer entsprechenden stofflichen Belastung von Ökosystemen etabliert. Die Critical Loads für Stickstoffeintrag, die u.a. als empirische Critical Loads europaweit regelmäßig aktualisiert werden (siehe Bobbink und Hettelingh 2011) können als der beste wissenschaftlich-empirische Kenntnisstand zur Beschreibung der Empfindlichkeit von Lebensräumen gegenüber eutrophierenden und versauernden Wirkungen bezeichnet werden. Die Critical Loads sind definiert als Depositionsrate (für Stickstoff i.d.R. angegeben als  $\text{kg N ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ ), unterhalb derer nach heutigem Kenntnisstand langfristig keine negativen Effekte für die Funktion und Struktur der Ökosysteme – z.B. Verdrängung standorttypischer Arten – zu befürchten sind (siehe z.B. Nagel und Gregor 1999, zu den CL als Maßstab zur Beurteilung der Empfindlichkeit von Vegetationsbeständen gegenüber Stickstoffeintrag siehe weitergehend Kapitel 5).

Neben den Critical Loads sind im Handbuch des International Cooperative Programme ICP on Modelling and Mapping (siehe ICP 2004 ff.) auch kritische Luftschadstoffkonzentrationen, sog. „**Critical Levels**“ zum Schutz der Vegetation gegenüber direkten Schäden durch Begasung mit stickstoffhaltigen Gasen ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ) dokumentiert. Critical Levels sind definiert als diejenige Luftschadstoffkonzentration, bei deren Unterschreitung nach derzeitigem Wissen keine direkten Schäden an der Vegetation zu erwarten sind (siehe z.B. Nagel und Gregor 1999). Eine Differenzierung auf der Rezeptorebene, d.h. für bestimmte Vegetationstypen konnte im Gegensatz zu den Critical Loads bisher aber nicht getroffen werden, da ausreichend aussagekräftige Untersuchungen für einzelne Vegetationstypen noch nicht vorliegen. Grundsätzlich werden die Langzeit-Critical Levels gegenüber den Kurzzeitwerten als die zuverlässigeren Werte eingestuft, denn relevant sind vor allem chronische Effekte (siehe ICP 2009, III-2). Die aktuellen  $\text{NH}_3$ - und  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen in Mitteleuropa sind im Allgemei-

nen zu gering, um akute toxische Effekte bei Pflanzen auszulösen (Gessler & Rennenberg o.J., LfU 1999). Bei der auf chronische Effekte bezogenen Ursachenforschung unter realen Bedingungen besteht allerdings grundsätzlich die Problematik, dass sich beobachtete Vegetationsschäden nur schwer eindeutig einer bestimmten Ursache zuordnen lassen. Bei stickstoffhaltigen Verbindungen kommt bspw. die mit Critical Levels beschriebene direkte Exposition zu bestimmten Gaskonzentrationen oder das mit Critical Loads beschriebene dauerhaft erhöhte Stickstoffangebot im Boden in Frage. Da Critical Loads im Gegensatz zu Critical Levels nicht nur für die Vegetation allgemein sondern vegetationsstypspezifisch ermittelt wurden, stellen Critical Loads gegenüber Critical Levels grundsätzlich einen sensibleren und spezifischeren Wirkungsindikator für Stickstoffbelastungen von Vegetationsbeständen dar. Die „größere Aussagekraft“ von Critical Load-Werten gegenüber dem  $\text{NO}_x$ -Luftkonzentrationswert der RL 1999/30/EG wurde auch bereits durch das BVerwG im Hesisch-Lichtenau II-Urteil anerkannt (Urteil vom 12.03.2008 – Az. 9 A 3.06, NuR 2008, 633-659).

Die Festlegung von Critical Loads und Critical Levels hat sich auch bereits auf die Rechtssetzung der Europäischen Gemeinschaft und in der Folge auf die Gesetzgebung in Deutschland ausgewirkt. Primär zu nennen ist hier die sog. NEC-Richtlinie aus dem Jahr 2001 (RL 2001/81/EG) sowie die Nachfolgerichtlinie NERC, welche nationale Emissionshöchstmengen u.a. für Stickoxide und Ammoniak definiert, die bis 2020 bzw. 2030 erreicht bzw. unterschritten werden müssen. In Deutschland rechtlich verankert sind die Werte bis 2020 in § 33 der 39. BImSchV. Eine solche vorhabensübergreifende Emissionsminderungsstrategie ist der konsequenteste umweltpolitische Ansatz, um die weiträumig und grenzüberschreitend auftretende Eutrophierung zu bekämpfen. Eine weitere EG-Richtlinie, die Regelungen zum Schutz der Vegetation vor eutrophierenden Stickstoffeinträgen enthält, ist die 1. Tochterrichtlinie zur EU-Luftqualitätsrahmenrichtlinie aus dem Jahr 1999 (RL 1999/30/EG). In dieser Richtlinie ist ein dem Critical Level entsprechender  $\text{NO}_x$ -Jahresmittel-Grenzwert von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgelegt. Übernommen wurde dieser Wert in die 39. BImSchV sowie die TA Luft. Dieser Wert gilt formal aber nur in Reinluftgebieten, d.h. 20 km entfernt von Ballungsräumen und 5 km entfernt von anderen bebauten Gebieten. Eine rechtliche Pflicht zur Anwendung dieses Grenzwertes im Rahmen einer FFH-Verträglichkeitsbetrachtung in dem hier vorliegenden Fall besteht somit nicht. Speziell für die FFH-Verträglichkeitsprüfung existieren bisher keine verbindlichen rechtlichen Vorgaben, die die Anwendung von Critical-Load- oder Critical-Level-Werten zwingend vorschreiben.

### **3.2 Anwendbarkeit der Critical Loads als Maßstab für die FFH-Verträglichkeitsprüfung**

Wie beschrieben wurden Critical Loads und Levels im Kontext des Genfer Übereinkommens über weitreichende grenzüberschreitende Luftverschmutzungen entwickelt. Im Gegensatz zur großräumigen Überwachung des Ökosystemzustandes in der EU ist die Anwendung der CL auf vorhabensbezogene und damit kleinräumige Fragestellungen erst seit einigen Jahren

etabliert. Bei der Anwendung in der Anlagengenehmigung ist folgendes zu berücksichtigen (siehe auch KIFL 2008):

- CL sind primär für eine kleinmaßstäbliche Beschreibung des grundsätzlichen Gefährdungsrisikos für Ökosystemtypen entwickelt worden, für die sie eine hinreichende Genauigkeit besitzen.
- CL beziehen sich auf ökosystemare Optimalzustände, die in Mitteleuropa außerhalb der Hochgebirgsregion und der Nordseeinseln schon seit Jahrzehnten nicht mehr anzutreffen sind und auch im Rahmen der FFH-Grunddatenerfassungen nach dem Jahr 2000 schon nicht mehr berücksichtigt werden konnten.
- CL schließen sehr langfristige Effekte bzw. Risiken (bis 100 Jahre) ein. CL sind in hohem Maße vorsorgeorientiert, da deren Einhaltung Beeinträchtigungen der Ökosysteme sicher ausschließen, deren Überschreitung aber nicht zwingend zu relevanten Beeinträchtigungen führen müssen. Konkrete Schadensprognosen lassen sich auf der Grundlage von CL-Überschreitungen nicht erstellen.
- Empirische CL (Bobbink & Hettelingh 2011) beruhen auf sehr heterogenen Daten aus unterschiedlichen Quellen mit unterschiedlichem regionalen Bezug und unterschiedlicher Methodik. Sie basieren teilweise auf einer vergleichsweise kurzfristigen Datenbasis (in der Regel Labor- oder Feldversuche mit einer Laufzeit von 3-5 Jahren) und stellen teilweise reine Expertenschätzungen dar. Die angegebenen Werte sind entsprechend ungenau (Wertespanssen von 5-10 kg).
- CL für Stickstoffeinträge in natürliche und naturnahe Ökosysteme sind derzeit nahezu flächendeckend überschritten (ca. 70 % der in Deutschland mit Stand 2015 kartierten Flächen) und stellen daher für den üblichen Prognosehorizont einer Vorhabensplanung (10-15 Jahre) nicht in jedem Fall einen realistisch erreichbaren Zielzustand dar.

CL bieten von Ihrem Ansatz her aber einen vom räumlichen Betrachtungsmaßstab im Prinzip unabhängigen quantitativen Maßstab für die Empfindlichkeit von Ökosystemen gegenüber Stoffeinträgen. Das Critical-Load-Konzept beinhaltet als Grundgedanken einen langfristigen Stabilitätsansatz und ist somit grundsätzlich kompatibel mit dem Schutzkonzept der FFH-Richtlinie, das ebenfalls auf eine langfristige Stabilität der FFH-Lebensraumtypen ausgerichtet ist. Die bisher veröffentlichten CL ermöglichen grundsätzlich eine quantitative Abschätzung von Risiken im Rahmen von Zulassungsverfahren. Alternative quantifizierte Bewertungssysteme für Stickstoffbelastungen existieren nicht.

Insgesamt bietet eine Anwendung der CL in einer FFH-Vor- oder Verträglichkeitsprüfung die Möglichkeit, eine überschlägige, aber quantifizierte Risikoabschätzung vorzunehmen. Dabei ist angesichts der vorsorgeorientierten Definition der CL als „no-effect-level“ und dem oben angesprochenen Bezug der Critical Loads zu völlig unvorbelasteten Ökosystemen, wie sie in Mitteleuropa so in der Regel gar nicht mehr ausgeprägt sind, eine Risikoabschätzung auf der Basis der CL als **Worst-Case-Ansatz** einzustufen. Die Ungenauigkeiten, die im CL-Ansatz selbst enthalten sind, aber auch die Ungenauigkeiten, die in den Berechnungen der Vor- und

Zusatzbelastungen durch Stickstoffeinträge enthalten sind, können durch einen entsprechend vorsichtigen Umgang mit den Zahlenwerten bei einer Anwendung der CL als Maßstab für gebietsbezogene FFH-Prüfungen berücksichtigt werden.

Es existieren inzwischen eine Reihe von fachlichen Empfehlungen, die von einer Anwendung von Critical Loads in Genehmigungsverfahren und für die FFH-Vor- oder Verträglichkeitsprüfung ausgehen (siehe z.B. Ad-hoc-AG des LAI und LANA 2019; FGSV 2019; BMVBS 2013, LAI 2012; LUA Brbg. 2008). Auch in der aktuellen Rechtsprechung wird der Maßstab der Critical Loads als grundsätzlich geeignet für die Beurteilung von Stickstoffimmissionen im Rahmen von FFH-VPs eingestuft. Das BVerwG hat mittlerweile in zahlreichen Fällen positive Entscheidungen auf der Grundlage von Verfahrensunterlagen, die eine Beurteilung auf der Grundlage empirischer CL und modellierter CL vorgenommen haben, gefällt. Das BVerwG hat in jüngeren Entscheidungen die Anwendungshinweise der FGSV sowie des BMVBS als angemessene Fachkonventionen zur Beurteilung von Stickstoffeinträgen in der FFH-Verträglichkeitsprüfung anhand von Critical Loads anerkannt (siehe BVerwG, Urteil vom 23.04.2014, 9 A 25/12 (A49, VKE 20) und BVerwG, Urteil vom 12.06.2019, 9 A 2.18 (A143 Westumfahrung Halle)).

Das Vorgesagte schließt nicht aus, dass im Einzelfall nachgewiesen werden kann, dass der Maßstab der Critical Loads nicht zu angemessenen Ergebnissen führt. Auf der anderen Seite ist aber festzuhalten, dass durch Anwendung von empirischen oder modellierten Critical Loads als Beurteilungsmaßstab jedenfalls eine ausreichend vorsorgliche Worst-case-Betrachtung erfolgt.

### **3.3 Beurteilungsmaßstäbe, Abschneidekriterium und Bagatellschwelle**

Der Antragssteller stellt einen Änderungsgenehmigungsantrag nach § 16 BImSchG. Für das Vorhaben besteht nach § 9 UVPG die Pflicht auf Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung, da das Änderungsvorhaben allein die Größen- oder Leistungswerte von 200 MW Feuerungswärmeleistung für eine unbedingte UVP-Pflicht gemäß § 6 UVPG überschreitet.

Aus rechtlicher Sicht ist für die hier vorgelegte gutachterliche Stellungnahme im Sinne einer FFH-Verträglichkeitsprüfung die entscheidende Frage, ob nach den besten wissenschaftlichen Techniken eine erhebliche Beeinträchtigung des FFH-Gebietes durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau – und kumulativ andere zu berücksichtigende Vorhaben – offensichtlich ausgeschlossen werden kann.

Primäre Beurteilungsmaßstäbe für Stickstoff- oder Säureeintrag sind, wie bereits dargestellt, gebiets- und standortbezogen zu bestimmende Critical Loads. Die Überschreitung eines solchen Critical Loads in der Gesamtbelastung (Summe aus Hintergrund- und Zusatzbelastung) bedeutet, dass ein begründetes Risiko besteht, dass erhebliche Beeinträchtigungen durch Stickstoffeintrag kurz-, mittel- oder langfristig auftreten können. Liegt ein Fall vor, in dem die Gesamtbelastung mit Stickstoffeinträgen den jeweils maßgeblichen Critical Load überschreitet, ist nur in solchen Fällen vorhabensbedingt von einem Risiko für erhebliche Beeinträchtigungen durch Stickstoffeintrag auszugehen, in denen das Vorhaben einen nachweisbaren

und damit prüfungsrelevanten Beitrag zur Gesamtbelastung mit Stickstoffeinträgen an dem zu beurteilenden Standort leistet und dieser Beitrag zu Beeinträchtigungen führen kann, die nicht lediglich als irrelevant bzw. bagatellhaft einzustufen sind.

Dass die Anwendung einer entsprechenden Bagatellschwelle auch für die Beurteilung von Stickstoffeinträgen in FFH-Gebiete notwendig und sinnvoll ist, hat das BVerwG u.a. in seinem Himmelsthür-Beschluss vom 10.11.2009 (Az. 9 B 28.09: B 1 Himmelsthür, DVBl 2010, 176-178) sowie in seinem Urteil vom 14.04.2010 (9 A 5.08: A44, VKE 32, NuR 2010, S. 558) bestätigt.

In welcher Größenordnung Stickstoff- oder Säureeinträge in diesem Kontext als irrelevant oder als Bagatelle zu werten sind, wurde in den letzten Jahren intensiv naturschutzfachlich diskutiert. Um diesbezüglich zu einer fachlich begründeten und allgemein akzeptierten Fachkonvention zu kommen, wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Jahr 2010 ein entsprechendes FE-Vorhaben beauftragt. Der Endbericht liegt vor (Quelle: BMVBS 2013). Das Grundschema der Beurteilung wurde in den FGSV-Stickstoffleitfaden Straße (FGSV 2019) und in den LAI-LANA-Stickstoffleitfaden BImSchG-Anlagen (Ad-hoc-AG 2019) übernommen. Die folgende Abb. 3-1 stellt die Grundstruktur der Fachkonvention dar.

Für Fallgestaltungen, in denen die Gesamtbelastung oder bereits die Hintergrund- oder Vorbelastung eine Überschreitung von Critical Loads an einem zu beurteilenden Standort verursacht, orientiert sich der Fachkonventionsvorschlag an dem Prinzip, dass jede weitere Zusatzbelastung durch ein neues Vorhaben den Erhaltungszielen für stickstoffempfindliche Schutzgegenstände eines FFH-Gebietes zuwiderläuft. Ausnahmen von diesem Grundprinzip sollen aber möglich sein, wenn – wie dargestellt – die Zusatzbelastung eines geplanten Vorhabens so geringfügig ist, dass sie als irrelevant bzw. bagatellhaft gelten kann. Um eine entsprechende Grenze festzulegen, ist eine Fachkonvention notwendig, denn rein rechnerisch bzw. modelltechnisch könnten auch noch kleinste zusätzliche vorhabensbedingte Stoffeinträge größer Null in großer Entfernung von einem emittierenden Vorhaben wie dem Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau ermittelt und dargestellt werden. Bereits aus praktischen Gründen, nämlich um in einer entsprechenden Ausbreitungsrechnung einen Untersuchungs- bzw. Betrachtungsraum abgrenzen zu können, ist allerdings ein Abschneidekriterium, d. h. eine untere Grenze relevanter vorhabensbezogener Zusatzbelastung, zu definieren. Ansonsten wäre es gar nicht möglich, einen Untersuchungsraum fachlich begründet zu begrenzen. Eine solche Abschneidegrenze ist spätestens dort anzusetzen, wo die zusätzliche Belastung eines Vorhabens nicht mehr mit vertretbarer Genauigkeit bestimmbar ist bzw. nicht mehr eindeutig von der Hintergrundbelastung abgrenzbar ist (Bagatellgrenze). Relevant in diesem Zusammenhang ist auch, ob die Größenordnungen theoretisch berechneter Werte noch mit empirischen Messungen abgeglichen werden können. Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, welche Größenordnungen von zusätzlichen Stickstoff- oder Säureeinträgen wirkungsseitig überhaupt noch feststellbar sind. Sowohl bei der Frage der Messbarkeit von Immissionen bzw. Depositionen als auch bei der Frage von Wirkungsnachweisen geht es um eine Grenzziehung zwischen rein theoretischen Risiken und praktisch relevanten, auch empirisch nachweisbaren Effekten. Auch das BVerwG betont, dass es im Rahmen einer FFH-VP nicht

erforderlich ist, rein theoretische Besorgnisse zu berücksichtigen oder ein Nullrisiko zu gewährleisten.

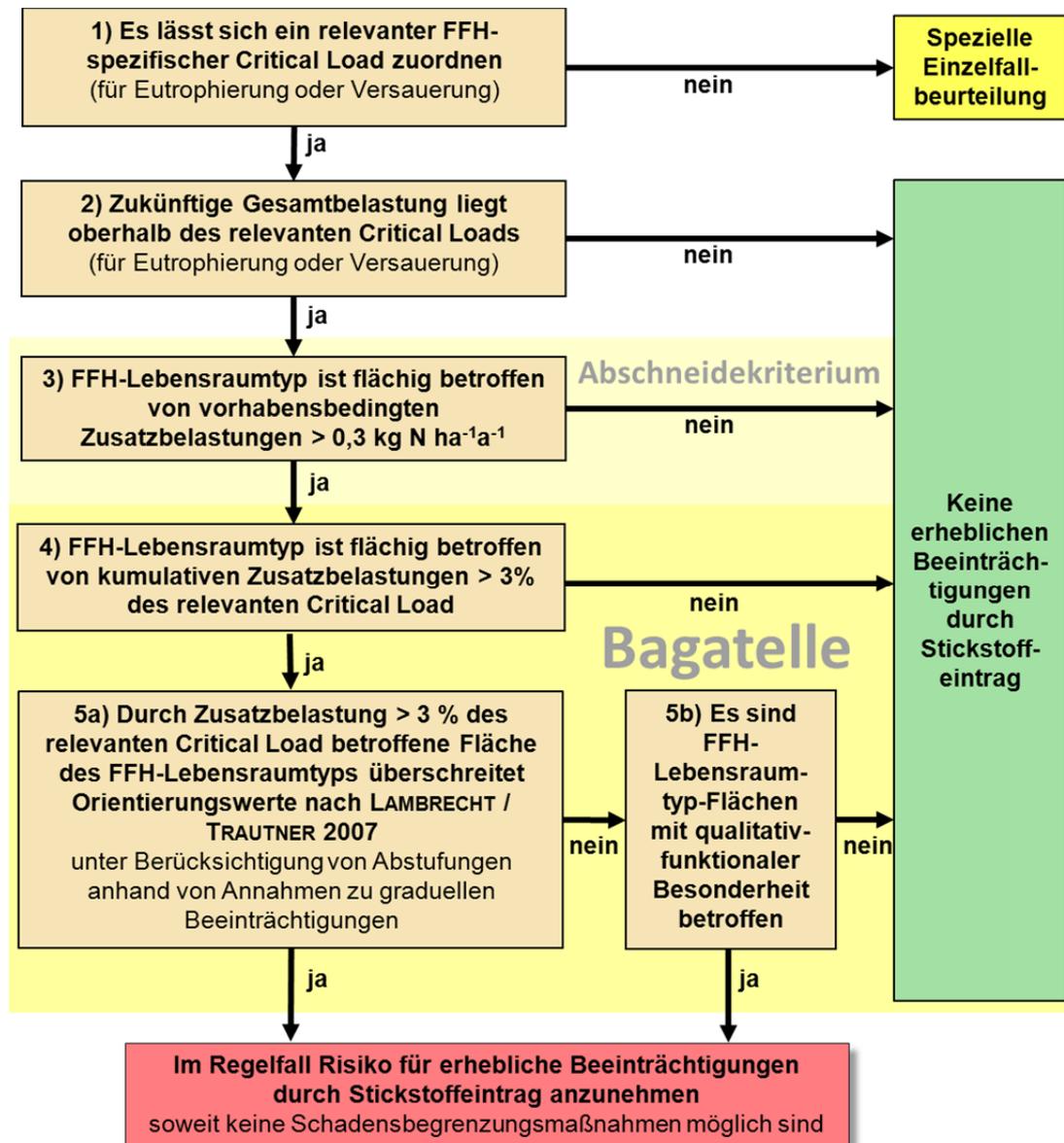


Abb. 3-1: Grundstruktur des Fachkonventionsvorschlags zur Erheblichkeitsbeurteilung für Stickstoffeinträge (Quelle: BMVBS 2013)

Im Rahmen des schon genannten BAST-FE-Vorhabens wurde eine umfassende fachliche Diskussion zum Thema Abschneidekriterium und Bagatellschwelle in verschiedenen, das FE-Vorhaben begleitenden Arbeitskreisen geführt.<sup>1</sup> Aus diesen Gesprächen sowie aus den

<sup>1</sup> Intensiv beteiligt an den Fachdiskussionen zum FE-Vorhaben waren folgende Personen: Frau Baum, Frau van Dornick, Herr Heuzeroth, Frau Kocher, Herr Surkus (BAST Referat V3 Umweltschutz), Herr Wehner-Heil

im Rahmen des FE-Vorhabens angestellten Recherchen hat sich ergeben, dass die bereits bei Uhl et al. 2007, 2009 und KIFL 2008 vorgeschlagene Bagatellschwelle von 3 % des Critical Loads aus fachlichen Gründen weiter empfohlen werden kann. Gleichzeitig soll die 3 % - Schwelle nach unten hin durch ein unteres Abschneidekriterium von  $0,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  begrenzt werden, da ansonsten untere Nachweisschwellen für Stickstoffeintrag deutlich unterschritten würden. Der Bagatellschwellenwert von 3 % soll dabei unabhängig von der Höhe der Überschreitung der Critical Loads in der Gesamtbelastung gelten. Auch eine Differenzierung der Bagatellschwelle danach, ob sich einzelne Lebensraumtypen in einem günstigen oder ungünstigen Erhaltungszustand befinden und dieser Erhaltungszustand durch Stickstoffeinträge verursacht wurde, ist verzichtbar. Da sich der 3 % -Wert bereits auf einen bestimmten Critical Load bezieht, wird eine entsprechende Empfindlichkeit des zu beurteilenden Lebensraumtyps vorausgesetzt.

Das Abschneidekriterium von  $0,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  soll streng vorhabensbezogen angewendet werden. Die Bagatellschwelle kann auch durch mehrere Vorhaben unterschiedlicher Vorhabenträger, die gleichzeitig geplant werden, überschritten werden (kumulative Betrachtung). Der Wert von  $0,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  als untere Nachweisschwelle für Stickstoffeintrag wurde mittlerweile vom BVerwG auch für Situationen mit kumulativen Belastungen anerkannt (BVerwG, Urteil vom 23.04.2014 zur A49, VKE 20, Az. 9 A 25.12 sowie Urteil vom 15. Mai 2019 zum Kraftwerk Trianel, Az. 7 C 27.17).

Die vorgeschlagenen Schwellenwerte beziehen sich auf den Bereich Stickstoffeintrag, da der Straßenverkehr keine Säureeinträge durch Schwefelverbindungen hervorruft. Die Grundlogik und die vorgeschlagenen Schwellenwerte lassen sich jedoch analog auch auf Säureeinträge durch Stickstoff und Schwefel übertragen.

Wird das untere Abschneidekriterium von  $0,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ausgehend von  $\text{NO}_2\text{-N}$  in Säureäquivalente umgerechnet, so ergibt sich ein Wert von  $24 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Die konkreten gebietsbezogenen Verhältnisse lassen keine besonderen Umstände erkennen, die eine Anwendung des vorgeschlagenen Abschneidekriteriums und der Bagatellschwelle ausschließen.

---

(BMVBS Referat Umweltschutz StB 13), Herr Bernotat (Bundesamt für Naturschutz, Außenstelle Leipzig, Fachgebiet II 4.2), Frau Mohaupt-Jahr, Herr Geupel (Umweltbundesamt, Fachgebiet II 4.3: Wirkung von Luftverunreinigungen auf terrestrische Ökosysteme), Herr Stania (Landesbetrieb Bau Sachsen-Anhalt), Herr Köhler (Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr), Herr Leermakers (Rijkswaterstaat - Dienst Verkeer en Scheepvaart, Delft NL), Herr Prof. Schumacher (Universität Bonn), Herr Hübschen (LANUV Nordrhein-Westfalen) Herr Zimmermann (LUGV Brbg), Herr Andreae (Staatsbetrieb Sachsenforst), Herr von Wilpert (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Freiburg), Herr Ssymank (BfN), Frau Garniel (KifL - Kieler Institut für Landschaftsökologie), Herr Prof. Bobbink (Universität Utrecht NL), Herr von Dobben (Alterra, Wageningen NL), Herr Meiwes (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt), Herr Hanisch (LUGV Brbg.), Herr Trautner (Arbeitsgemeinschaft für Tierökologie und Planung), Herr Gockel (Planungsgruppe Ökologie).

### 3.4 Hinweise zum weiteren Vorgehen

Um die dargestellten Beurteilungsmaßstäbe anzuwenden, werden als Grundlage für die Beurteilung im Folgenden konkrete Critical Load-Werte (Kapitel 5), die Größenordnung der Hintergrundbelastung (Kapitel 6) sowie die Größenordnung der vorhabensbedingten Zusatzbelastung (Kapitel 7) ermittelt und dargestellt. Dabei wird die Beurteilung zunächst auf die empirischen Critical Loads gestützt. In einem ergänzenden Beurteilungsschritt werden die mittlerweile von IBE/ÖKO-DATA (siehe Anlage 4) für die betroffenen Gebiete ermittelten modellierten Critical Loads zugrunde gelegt, um die Beurteilung auf der Basis der empirischen Critical Loads zusätzlich zu überprüfen. Während für die Beurteilung anhand der empirischen Critical Loads entsprechend dem Anwendungsbereich dieser Critical Loads ausschließlich Stickstoffeinträge betrachtet werden können, erfolgt die Beurteilung anhand der modellierten Critical Loads sowohl anhand des eutrophierenden Stickstoffeintrags als auch anhand des aus Stickstoffverbindungen und Schwefelverbindungen resultierenden Säureeintrags.

### 3.5 Hinweise zu den Zahlenangaben

Der Stickstoffeintrag wird üblicherweise angegeben in der Einheit Kilogramm Stickstoff je Hektar und Jahr ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) und der Säureeintrag wird üblicherweise angegeben in der Einheit Säureäquivalente je Hektar und Jahr ( $\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ). Säureäquivalente sind ein Ausdruck für die Anzahl an  $\text{H}^+$ -Ionen, die durch einen versauernd wirkenden Stoffeintrag potenziell freigesetzt werden. Ein Säureäquivalent entspricht 1 mol  $\text{H}^+$ -Ionen. Die Umrechnung von kg in eq erfolgt anhand der Massenzahl im Periodensystem. 1 mol Stickstoff (N) hat die Masse von 14 Gramm, 1 mol Schwefel hat die Masse von 32 Gramm. Gleichzeitig ist bei der Umrechnung zu berücksichtigen, dass 1 mol  $\text{SO}_2$ -Schwefel 2 mol  $\text{H}^+$ -Ionen (2 eq) freisetzen kann (zweifache Säurewirkung). 1 mol  $\text{NH}_3$ -Stickstoff oder  $\text{NO}_x$ -Stickstoff können jeweils 1 mol  $\text{H}^+$ -Ionen (1 eq) freisetzen (einfache Säurewirkung).

## 4 Gebietsbeschreibung

In einer näheren Entfernung (< 4 km) um den Industriepark Höchst liegen insgesamt drei FFH-Gebiete und ein EU-Vogelschutzgebiet, die im Folgenden näher beschrieben werden (siehe Übersichtskarte). Die Beschreibung konzentriert sich dabei auf die in den jeweiligen Gebieten geschützten FFH-Lebensraumtypen, da sich eutrophierende Stickstoffeinträge auf Vegetationsbestände und nicht auf Tierarten auswirken.

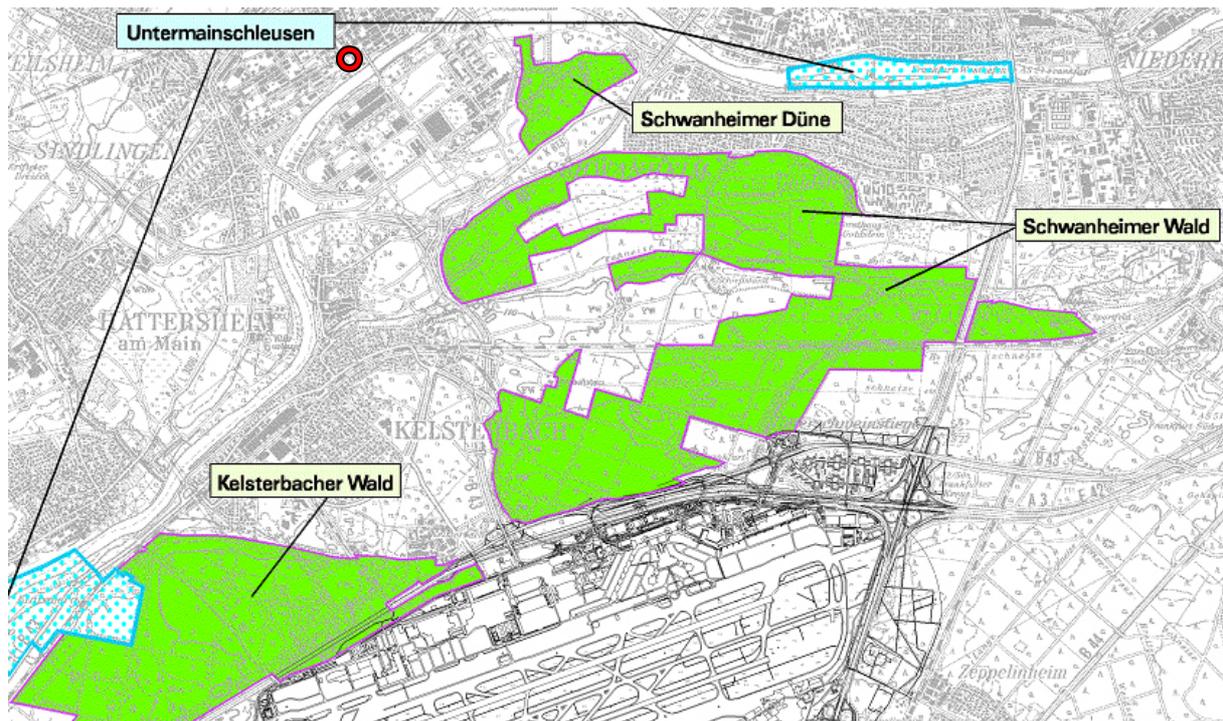


Abb. 4-1: Übersichtskarte zur Lage der Natura 2000-Gebiete (roter Kreis: Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau)

### 4.1 FFH-Gebiet DE 5917-301 „Schwanheimer Düne“

Das FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“ liegt ca. 1.500 m in östlicher Richtung vom Vorhaben entfernt. Es handelt sich um ein 57,4 ha großes Dünengebiet (Natura-2000-Verordnung 2016<sup>2</sup>) am Südwestrand des Stadtgebietes im Stadtteil Schwanheim, zwischen westlichem Ortsrand und dem Industriepark Hoechst.

Das FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“ entspricht dem gleichnamigen Naturschutzgebiet und ist geologisch als Binnendüne auf der Obersten Niederterrasse im Bereich des historischen Mainlaufs anzusprechen. Deren Sedimente bestehen aus pleistozänen Sanden und

<sup>2</sup> [http://www.rpda.de/01%20Natura%202000-Verordnung/Natura2000-VO-RPDA/Start\\_Natura2000\\_VO.html](http://www.rpda.de/01%20Natura%202000-Verordnung/Natura2000-VO-RPDA/Start_Natura2000_VO.html).

sandigen Kiesen mit tonig-schluffigen Zwischenlagen. Die typischen, dynamischen Prozesse der Auenlandschaft wie Überschwemmungen und Materialverlagerungen finden aufgrund der Regulierung des Mains heute nicht mehr statt. Auch Sandverwehungen treten kaum noch auf (IBL/BFS 2003).

Die Schwanheimer Düne ist geprägt durch dünentypische offene Grasflächen und Magerrasen sowie Flachlandmähwiesen. Die Flachlandmähwiesen befinden sich teilweise unter Streuobstbeständen. Daneben finden sich einzelne Bestände von mageren Waldtypen wie dem bodensauren Birken-Eichenwald sowie dem Steppen-Kiefernwald. Eine Besonderheit der Schwanheimer Düne sind die flechtenreichen Silbergrasfluren, die vor allem im zentralen Bereich der Düne auf flachgründigen, erodierten Braunerden auftreten und dem LRT 2330 zuzuordnen sind.

Am Westrand des Dünengebietes befindet sich die Schmidt'sche Grube, ein oligo- bis mesotrophes, kalkhaltiges Stillgewässer mit benthischer Armleuchteralgen-Vegetation, in welchem aktuell bis vor kurzem durch Privatpersonen Fischzucht betrieben wurde. Wesentliche Entwicklungsziele sind die Erhaltung der offenen Dünenlandschaft und der mageren Mähwiesen durch extensive Nutzung. Außerdem sollen die nährstoffarmen, kalkhaltigen Stillgewässer mit Armleuchteralgen vor Eutrophierung durch menschliche Nutzung geschützt werden. Arten nach Anhang II der FFH-Richtlinie sind im FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“ nicht als Schutzgegenstand benannt.

Die folgende Tabelle listet die FFH-Lebensraumtypen auf, die Schutzgegenstand im FFH-Gebiet sind.

**Tab. 4-1: Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie im FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“**

Natura 2000-Code (*prioritär)	Lebensraumtyp nach FFH	Fläche im FFH-Gebiet [ha] nach GDE*	Erhaltungszustand im Gebiet**
2330	Offene Grasflächen mit <i>Corynephorus</i> und <i>Agrostis</i> auf Binnendünen	9,04	A
3140	Stillgewässer mit Armleuchteralgen-Vegetation	6,36	C
6510	Magere Flachlandmähwiesen	7,65	B

\*) GDE = Grunddatenerfassung im FFH-Gebiet (IBL/BFS 2003).

\*\*) Erhaltungszustand gemäß Standarddatenbogen 03/2015.  
A = hervorragend, B = gut, C = mittel-schlecht.

Die meisten Sandrasen-Flächen der zentralen Düne sind bis auf geringes Aufkommen von Kiefern-Sämlingen oder meist kümmerlichen, einjährigen Ruderalpflanzen unbeeinträchtigt.

Allerdings finden sich in den Randbereichen vereinzelte erste Ranken und sogar kleine Gebüsche des Neophyten Armenische Brombeere (*Rubus armeniacus*). Dieser Neophyt stellt direkt bzw. mittelfristig eine Gefährdung für die offenen Sandrasen-Flächen dar (IBL/BFS 2003). Dieser Gefährdung kann allerdings durch geeignete Pflegemaßnahmen entgegen gewirkt werden.

Der mit der Fischzucht in der Schmidt'schen Grube verbundene Besatz von Fischen und die Fischfütterung haben zu Beeinträchtigungen des LRT 3140 geführt. Auch ist aufgrund der pflanzensoziologischen Einstufung der Vegetation im Gewässer davon auszugehen, dass das als LRT 3140 geschützte Gewässer nahe der Grenze des oligo-mesotrophen Bereiches zum eutrophen Bereich liegt (IBL/BFS 2003).

Die wertgebenden Armelechteralgen im Gewässer wurden anhand einer speziellen Tauchkartierung aus dem Sommer 2002 erfasst. Danach kommen in der Schmidt'schen Grube zwei Armelechteralgen vor: Die sog. Bespitzte Nitella (*Nitella mucronata*) kommt in großen Beständen entlang des Nordwestufers in 3-4,5 m Wassertiefe vor. Die Gewöhnliche Armelechteralge (*Chara vulgaris*) wächst dort selten eingestreut. Beide Arten werden in der Grunddatenerfassung als Leitarten des Gewässers eingestuft (IBL/BFS 2003). Seit Ende 2012 liegt eine aktuelle Rote Liste der Armelechteralgen Deutschlands vor (Korsch et al. 2013). Danach sind beide Arten für Deutschland als ungefährdet eingestuft. Gegenüber der alten Roten Liste von 1996 hat sich der Kenntnisstand zu dieser Artengruppe deutlich verbessert. Dies hat dazu geführt, dass einige Arten nicht mehr als gefährdet gelten. Auch die in der Schmidt'schen Grube kartierten Arten *Nitella mucronata* und *Chara vulgaris* sind nach der neuen Roten Liste sowohl für Deutschland als auch für Hessen als ungefährdet eingestuft. Bei *Chara vulgaris* handelt es sich um die häufigste Armelechteralgen-Art in Deutschland. Die Art ist in der Lage, zeitweise Individuenverluste durch rasche Besiedlung neu entstehender Gewässer auszugleichen. Die Art ist bekannt für ihre breite Standortamplitude. *Nitella mucronata* ist bekannt dafür, dass sie flächendeckende, stabile Bestände bis in größere Tiefen auch in Sekundärgewässern des Bergbaus aufbauen kann. Sie wird als gegenüber Eutrophierung relativ unempfindlich eingestuft (Korsch et al. 2013). Aufgrund des Kalk-Gehaltes des Gewässers ist eine Versauerungsgefährdung auch der Armelechteralgen nicht gegeben.

Die Qualität der Mageren Flachland-Mähwiesen ist je nach Substrattyp des Bodens unterschiedlich. Insbesondere die sandreichen Flächen verfügen über eine hohe Artenvielfalt mit einem hohen Anteil an Magerkeitszeigern.

Für das FFH-Gebiet Schwanheimer Düne liegt auch ein aktueller FFH-Bewirtschaftungsplan vor (RPDA 2011a).

### **Erhaltungsziele**

Die hessische Natura 2000-Verordnung nach § 14 Abs. 2 HAGBNatSchG vom 20.10.2016 benennt für das FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“ folgende Erhaltungsziele:

Erhaltungsziele der Lebensraumtypen nach Anhang I FFH-Richtlinie:

**2330 Dünen mit offenen Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis***

- Erhaltung des Offenlandcharakters der Standorte
- Erhaltung einer bestandsprägenden, die Nährstoffarmut begünstigenden Bewirtschaftung

**3140 Oligo- bis mesotrophe kalkhaltige Gewässer mit benthischer Vegetation aus Armelechteralgen**

- Erhaltung der biotopprägenden Gewässerqualität und eines für den Lebensraumtyp günstigen Nährstoffhaushaltes
- Erhaltung der für den Lebensraumtyp charakteristischen Gewässervegetation und der Verlandungszonen
- Erhaltung des funktionalen Zusammenhangs mit den Landlebensräumen für die LRT-typischen Tierarten

**6510 Magere Flachland-Mähwiesen (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*)**

- Erhaltung eines für den LRT günstigen Nährstoffhaushaltes
- Erhaltung einer bestandsprägenden Bewirtschaftung.

**4.2 FFH-Gebiet DE 5917-303 „Kelsterbacher Wald“**

Das FFH-Gebiet Nr. DE 5917-303 „Kelsterbacher Wald“ liegt ca. 4.400 m in südlicher Richtung vom Vorhaben entfernt. Es liegt in der Untermainebene nordwestlich des Flughafens Frankfurt Main. Nach der von der zuständigen Naturschutzbehörde ursprünglich vorgenommenen Abgrenzung reicht das Gebiet im Norden bis an das geschlossene Siedlungsgebiet von Kelsterbach, im Westen stellt die parallel zur B 43 verlaufende S-Bahn-Linie Frankfurt – Wiesbaden die Grenze des Gebietes dar. Die BAB 3 bildet die südliche Grenze vom Mönchhof-Dreieck im Westen bis zur Kelsterbacher Spange im Osten.

Das FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“ ist Teil einer flachen Terrassenlandschaft mit überwiegend basenarmen, sandig-kiesigen, trockenen Böden. Es handelte sich ursprünglich um ein relativ großes, zusammenhängendes Waldgebiet, das sich zu annähernd gleichen Teilen aus Nadelholzforsten, Mischforsten und Laubwald zusammensetzt. Die Waldgebiete innerhalb des FFH-Gebietes zeichnen sich durch geringe Nutzungsintensität, Störungsarmut und bedeutende Lebensraumfunktionen insbesondere für Tierarten aus. Laubwälder ohne oder nur mit geringen Anteilen an Nadelgehölzen kommen im Kelsterbacher Wald in relativ großer Variationsbreite vor. Am westlichen Rand und im Südosten häuft sich der FFH-Lebensraumtyp „Hainsimsen-Buchenwald“. Im Nordwesten findet sich auch der FFH-Lebensraumtyp „Waldmeister-Buchenwald“ auf nährstoffreicheren Standorten. Die weiteste Verbreitung haben „Alte bodensaure Eichenwälder mit *Quercus robur* auf Sandebenen“, die in zahlreichen großen und kleinen Teilflächen im gesamten Gebiet ausgebildet sind. Entlang

des südöstlichen Randes parallel zur BAB 3 verlaufen breite Überlandleitungen, deren Trassen durch Pflegemaßnahmen von hohem Gehölzbewuchs freigehalten werden. Auf diesen Flächen tritt angrenzend zur RWE-Umspannanlage Kelsterbach und im Bereich der Hochspannungstrassen im Norden und entlang der BAB 3 auf sandig-trockenen Standorten der FFH-Lebensraumtyp „Trockene Sandheide mit *Calluna* und *Genista*“ auf. Des Weiteren findet sich im Bereich des Umspannwerkes Kelsterbach kleinräumig der FFH-Lebensraumtyp „Offene Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis* auf Binnendünen“.

Die vorkommenden FFH-relevanten Tierarten unterstreichen die besondere Bedeutung und Ausprägung der im Gebiet vorhandenen naturnahen Eichen- und Buchen-Altholzbestände. So ist der Hirschkäfer (FFH Anhang II) in seiner Fortpflanzung eng an alte Laubwälder, insbesondere Eichenwälder, gebunden. In großen Wurzelstücken und alten Stümpfen durchläuft die Larve eine fünfjährige Entwicklungszeit und ernährt sich hier vom verpilzten Holz. Eine vergleichbare Bindung zeigt die Bechsteinfledermaus, die für ihre Quartiere bevorzugt Baumhöhlen nutzt und überwiegend in naturnahen Laubmischwäldern zu beobachten ist. Gleich dem Großen Mausohr (FFH Anhang II) nimmt die Art ihre Nahrung (u.a. Spinnen, Hundertfüßler) direkt vom Boden auf (sog. „gleaner-Fledermäuse“). Zu den bevorzugten Jagdgebieten des Großen Mausohrs gehören ebenfalls laubholzreiche, ältere Wälder mit geringem Bodenbewuchs.

In das FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“ wurde in größerem Umfang durch den kapazitiven Flughafenausbau Frankfurt Main entsprechend dem Planfeststellungsbeschluss des HMWVL vom 18.12.2007 eingegriffen, ohne die Schutzwürdigkeit des Gebietes als solches in Frage zu stellen. Mit dem Flughafenausbau wurde der Neubau einer zusätzlichen Landebahn Nordwest im Zentrum des ehemals zusammenhängenden Kelsterbacher Waldes realisiert. Die Landebahn ist über zwei Rollbrücken mit dem restlichen Flughafengelände verbunden. Die Offenland-Lebensraumtypen entlang der Hochspannungstrassen sind teilweise beseitigt oder im Rahmen von Kohärenzmaßnahmen umgesiedelt bzw. neu angelegt worden. Durch die Baumaßnahmen wurde das ursprünglich zusammenhängende Waldgebiet in einen nördlichen und einen südlichen Teil geteilt. Die ursprüngliche Flächengröße des FFH-Gebietes von ca. 445 ha verkleinerte sich durch den Flughafenausbau um etwa die Hälfte auf eine Größe von 238 ha (BÖF 2015). Die nördlich der Landebahn gelegene Teilfläche umfasst zukünftig eine Waldfläche von etwa 170 ha. Davon verbleiben etwa 110 ha im FFH-Gebiet. Entsprechend dieser Gebietsverkleinerung reduzieren sich die Flächenumfänge der vorkommenden FFH-Lebensraumtypen. Es bleiben aber alle ursprünglich vorkommenden Lebensraumtypen zumindest auf Teilflächen bestehen bzw. konnten neu angelegt werden, so dass sich der Schutzgegenstand nur bezüglich der Flächengrößen verändert und die Erhaltungsziele nach wie vor anwendbar sind.

Die folgende Tabelle listet die FFH-Lebensraumtypen auf, die Schutzgegenstand im FFH-Gebiet sind.

Tab. 4-2: Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie im FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“\*\*

Natura 2000-Code	Lebensraumtyp nach FFH	Fläche im FFH-Gebiet [ha] vor/nach Flughafen- ausbau*	Erhaltungszustand vor Flughafen- ausbau**
2310	Trockene Sandheiden mit <i>Calluna</i> und <i>Genista</i> (Dünen im Binnenland)	6,03	C
2330	Offene Grasflächen mit <i>Corynephorus</i> und <i>Agrostis</i> auf Binnendünen	0,09	C
9110	Hainsimsen-Buchenwald ( <i>Luzulo-Fagetum</i> )	11,57 (SDB)/ 17,57 (GDE)***	B
9130	Waldmeister-Buchenwald ( <i>Asperulo-Fagetum</i> )	7,34	C
9190	Alte bodensaure Eichenwälder mit <i>Quercus robur</i> auf Sandebenen	20,39	C

\*) Die Daten der Flächen nach dem Flughafen- ausbau stammen aus der aktuellen Grunddatenerfassung (BÖF 2015) bzw. dem aktualisierten Standard- datenbogen 03/2015 (SDB)

\*\*) Erhaltungszustand: A = hervorragend, B = gut, C = mittel- schlecht (Angaben gemäß Standard- datenbogen 03/2015)

\*\*\*) Bei der Abweichung handelt es sich vermutlich um einen Übertragungsfehler von der GDE in den SDB.

Wie beschrieben bestehen sowohl die aktuellen Flächen des LRT 2310 (Sandheide) als auch die aktuellen Flächen des LRT 2330 (Sandmagerrasen) in der ehemaligen Hochspannungstrasse im Nordosten des Gebietes teilweise aus in den Jahren 2009 bis 2011 neu angelegten Biotopen. Die Biotope wurden durch die Umlagerung von Oberbodenmaterial, Heidesoden sowie Sandmagerrasen-Mähgut aus Spenderflächen in der ehemaligen Umspananlage Kelsterbacher Wald neu hergestellt. Die neuen Sandheide-Entwicklungsflächen des LRT 2310 liegen in den Bereichen, in denen im Zuge des Fraport-Vorhabens ein Rückbau von Hochspannungsmasten stattgefunden hat. Dort wurde im Zuge der Kohärenzmaßnahme sandig-humoser Oberboden sowie gemähtes Heidematerial der Spenderflächen aufgebracht. Die Entwicklungsflächen mit neuem LRT 2330 (Sandmagerrasen) liegen nördlich der Baumaßnahmen des Rückbaus der Hochspannungsmasten. Dort wurde im Zuge der Kohärenzmaßnahme Oberboden abgetragen und sandig-humoser Oberboden sowie abgeschälte Sandmagerrasen-Soden der Spenderflächen aufgebracht.

### Erhaltungsziele

Die hessische Natura-2000-Verordnung nach § 14 Abs. 2 HAGBNatSchG vom 20.10.2016 benennt für das FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“ folgende Erhaltungsziele (für den LRT 2330 enthält die Natura-2000-Verordnung in der Fassung von 2016 fälschlicherweise keine Erhaltungsziele, so dass nachfolgend die Erhaltungsziele der Natura-2000-Verordnung von 2008 aufgeführt sind):

---

Erhaltungsziele der Lebensraumtypen nach Anhang I FFH-Richtlinie

**2310 Trockene Sandheiden mit *Calluna* und *Genista***

- Erhaltung des Offenlandcharakters der Standorte
- Erhaltung einer bestandsprägenden, die Nährstoffarmut begünstigenden Bewirtschaftung

**2330 Dünen mit offenen Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis***

- Erhaltung des Offenlandcharakters der Standorte
- Erhaltung einer bestandsprägenden, die Nährstoffarmut begünstigenden Bewirtschaftung

**9110 Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*)**

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen

**9130 Waldmeister-Buchenwald (*Asperulo-Fagetum*)**

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen

**9190 Alte bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen mit *Quercus robur***

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen.

Erhaltungsziele der Arten nach Anhang II FFH-Richtlinie

***Lucanus cervus* (Hirschkäfer)**

- Erhaltung von alten eichenreichen Laub- oder Laubmischwäldern in ihren verschiedenen Entwicklungsphasen mit Totholz

***Myotis bechsteinii* (Bechsteinfledermaus)**

- Erhaltung von alten strukturreichen Laub- und Laubmischwäldern mit Höhlenbäumen als Sommerlebensraum und Jagdhabitat
- Erhaltung funktionsfähiger Sommerquartiere

***Myotis myotis* (Großes Mausohr)**

- Erhaltung von alten großflächigen, laubholzreichen Wäldern mit Totholz und Höhlenbäumen bevorzugt als Buchenhallenwälder als Sommerlebensraum und Jagdhabitat

- Erhaltung von funktionsfähigen Sommerquartieren.

### 4.3 FFH-Gebiet DE 5917-305 „Schwanheimer Wald“

Das FFH-Gebiet Nr. DE 5917-305 „Schwanheimer Wald“ liegt ca. 1.800 m in südlicher Richtung vom Vorhaben entfernt. Es gehört zur Untermainebene und erstreckt sich in zwei Teilbereichen nördlich des Flughafens Frankfurt Main. Die beiden Teilbereiche werden durch die BAB 5 voneinander getrennt. Durch das westliche Teilgebiet sowie südlich des östlichen Teilgebietes verläuft die Bahntrasse der Eisenbahnlinie Frankfurt – Mainz. Der westliche Teilbereich wird im Süden entlang des Waldgebietes durch die BAB 3 und nach Westen hin durch die B 40 bzw. B 43 begrenzt. Der östliche Teilbereich nimmt einen deutlich geringeren Flächenanteil ein als der Westliche.

Das FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“ umfasst insgesamt sieben Lebensraumtypen des Anhangs I der FFH-Richtlinie und vier Tierarten des Anhangs II der FFH-Richtlinie, die als signifikant angegeben und als Erhaltungsziele von der zuständigen Naturschutzbehörde beschrieben worden sind. Das Grüne Besenmoos sowie die Lebensraumtypen 2310 (trockene Sandheiden) und 3150 (natürliche eutrophe Seen) sind als nicht signifikant beschrieben und daher in den Erhaltungszielen nicht genannt.

Der in seiner Biotoypenausstattung relativ einheitliche „Schwanheimer Wald“ umfasst eine Fläche von etwa 762,4 ha (Natura-2000-Verordnung 2016) und besteht im Wesentlichen aus forstlich geprägten Waldbeständen. Offene Strukturen finden sich lediglich kleinflächig bzw. linienhaft entlang der Verkehrswege sowie im Bereich von Waldlichtungen. Insgesamt sind die Wälder innerhalb des Gebietes in erheblichem Umfang als strukturreich und in Teilen als naturnah einzustufen. Sie stellen wertvolle Lebensräume für Tierarten dar. Naturnahe Waldgesellschaften sind vor allem im Südwesten im Bereich „Altheeg“ anzutreffen. Dabei handelt es sich um alte bodensaure Eichenwälder mit Stieleiche (*Quercus robur*) auf Sandebenen und vereinzelt um Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum). Eine weitere naturnahe Waldgesellschaft, der Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald (Stellario-Carpinetum), tritt dagegen zentral nicht mehr auf, sondern ist vor allem auf den Norden des Schwanheimer Waldes beschränkt, wo sie vermutlich durch Grundwasserabsenkung aus ehemaligen Hartholzauwäldern hervorgegangen ist. Standorte, auf denen sich das Stellario-Carpinetum als natürliche Waldgesellschaft einstellen würde, sind im Flachland grund- oder stauwasserbeeinflusste Flächen, bei denen es zur zeitweisen Vernässung des Wurzelraumes kommen kann. Auch auf schweren Böden mit unausgeglichenem Wasserhaushalt, auf mäßig basenreichen bis kalkreichen Böden und anthropogen durch historische Nieder- und Mittelwaldwirtschaft ist die Gesellschaft über diese Standorte hinaus verbreitet. In kleineren Auwaldbereichen der „Kelster“ im Nordwesten des Gebiets finden sich lokal noch Relikte, die dem FFH-LRT \*91E0 (Erlen- und Eschenwälder) zugeordnet werden können. Im Gegensatz dazu stockt das Luzulo-Fagetum, das meist in einer sehr artenarmen Ausprägung vorkommt, auf Standorten, die einen stärker ausgeglichenen Wasserhaushalt aufweisen.

Offenlandlebensräume spielen im „Schwanheimer Wald“ hinsichtlich ihrer Flächen- ausdehnung nur eine geringe Rolle, tragen aber zur floristischen Artendiversität bei. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um Magere Flachlandmähwiesen und Submediterrane Halbtrockenrasen, die auf die „Schwanheimer Wiesen“ im Norden des FFH-Gebietes beschränkt sind. Trockene Sandheiden mit *Calluna* und *Genista* sowie offene Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis* auf Binnendünen sind meist nur saumartig entlang von Waldwegen und Bahnstrecken ausgebildet. Der LRT 3150 (natürliche eutrophe Seen) findet sich an zwei Stellen im Gebiet, südlich der Bahntrasse der Eisenbahnlinie Frankfurt – Mainz und im Offenland der „Schwanheimer Wiesen“.

Die vorkommenden FFH-relevanten Tier- und Pflanzenarten unterstreichen die besondere Bedeutung und Ausprägung der im FFH-Gebiet vorhandenen naturnahen Buchen-, Eichen- Hainbuchen- und Eichen-Altholzbestände sowie der Erlen- und Eschenwälder. So sind Hirschkäfer und Heldbock in ihrer Fortpflanzung eng an alte Laubwälder, insbesondere Eichenwälder, gebunden. In großen Wurzelstücken und alten Stümpfen durchlaufen die Larven eine mehrjährige Entwicklungszeit und ernähren sich hier vom verpilzten Holz. Auch das Grüne Besenmoos (*Dicranum viride*) siedelt vornehmlich am Stammfuß älterer Laubbäume. Eine vergleichbare Bindung zeigt die Bechsteinfledermaus, die für ihre Quartiere bevorzugt Baumhöhlen nutzt und überwiegend in naturnahen Laubmischwäldern zu beobachten ist. Die Art liest ihre Nahrung (Invertebraten, vorwiegend Insekten und Spinnen) von Blättern, aber auch vom Boden auf. Das Große Mausohr sammelt bevorzugt Laufkäfer vom Waldboden ab. Zu den bevorzugten Jagdgebieten des Großen Mausohrs gehören laubholzreiche, ältere Wälder mit geringem Bodenbewuchs.

Die folgende Tabelle listet die FFH-Lebensraumtypen auf, die Schutzgegenstand im FFH-Gebiet sind.

**Tab. 4-3: Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie im FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“**

Natura 2000-Code (* =prioritär)	Lebensraumtyp nach FFH	Fläche im FFH-Gebiet [ha] nach SDB*	Erhaltungszustand im Gebiet**
6510	Magere Flachland- mähwiesen	12,0	B
*6212	Submediterraner Halbtro- ckenrasen	1,05***	C***
9110	Hainsimsen-Buchenwald	65,2	C
9160	Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Hainbuchenwald	63,9	B
9190	Alte bodensaure Eichen- wälder mit <i>Quercus robur</i> auf Sandebenen	132,1	C

Natura 2000-Code (* =prioritär)	Lebensraumtyp nach FFH	Fläche im FFH-Gebiet [ha] nach SDB*	Erhaltungszustand im Gebiet**
*91E0	Erlen- und Eschenwälder und Weichholzaunen an Fließgewässern	2,4	B

\*) SDB = Standarddatenbogen 03/2015 der Naturschutzbehörde, hier vertreten durch Regierungspräsidium Darmstadt

\*\*\*) Erhaltungszustand: A = hervorragend, B = gut, C = mittel-schlecht  
(Angaben gemäß Standarddatenbogen 03/2015)

\*\*\*\*) Angaben gemäß Bewirtschaftungsplan (RPDA 2011b).

Der in der Grunddatenerfassung (Planwerk 2004) noch dargestellte Bestand eines Submediterranean Halbtrockenrasens (Mesobromion - LRT 6212 als Subtyp des LRT 6210) im nördlichen Bereich des Schwanheimer Waldes ist im aktuellen Standarddatenbogen aus dem Jahr 2015 nicht mehr ausgewiesen. Auch in der aktuellen Natura-2000-Verordnung fehlt dieser LRT. Dies ist jedoch nach Aussage des RP Darmstadt ein behördlicher Fehler. Der LRT ist im aktuellen Bewirtschaftungsplan (RPDA 2011b) enthalten und soll weiterhin Prüfgegenstand sein. Die aktuellen Vegetationsuntersuchungen in 2012 und 2018 haben auf den gemäß Grunddatenerfassung (Planwerk 2004) und Bewirtschaftungsplan (RPDA 2011b) als Submediterranean Halbtrockenrasen (Mesobromion - LRT 6212 als Subtyp des LRT 6210) ausgewiesenen Flächen im nördlichen Bereich des Schwanheimer Waldes gezeigt, dass sich die Bestände teilweise in Richtung Borstgrasrasen (Polygalo-Nardetum strictae) entwickelt haben, welche eher dem LRT 6230 zuzuordnen wären (siehe Anlage 5, S. 23). Schon in der Grunddatenerfassung wird ausgeführt, dass sowohl Charakterarten der Halbtrockenrasen als auch Charakterarten der Borstgrasrasen vorkommen, die vorgefundene Vegetation Übergänge von einem basenarmen Halbtrockenrasen zu einem Borstgrasrasen zeigt und eine Einordnung zu einer der beiden Klassen schwer fällt.

## Erhaltungsziele

Die hessische Natura 2000-Verordnung nach § 14 Abs. 2 HAGBNatSchG vom 20.10.2016 benennt für das FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“ folgende Erhaltungsziele (für den LRT \*6212 enthält die Natura-2000-Verordnung in der Fassung von 2016 fälschlicherweise keine Erhaltungsziele, so dass nachfolgend die Erhaltungsziele aus dem Bewirtschaftungsplan - RPDA 2011b - aufgeführt sind):

### Erhaltungsziele der Lebensraumtypen nach Anhang I FFH-Richtlinie

#### **2330 Dünen mit offenen Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis***

- Erhaltung des Offenlandcharakters der Standorte
- Erhaltung einer bestandsprägenden, die Nährstoffarmut begünstigenden Bewirtschaftung

#### **6212\* Submediterranean Halbtrockenrasen**

- Erhaltung des Offenlandcharakters der Standorte

- Erhaltung einer bestandserhaltenden, die Nährstoffarmut begünstigenden Bewirtschaftung

**6510 Magere Flachland-Mähwiesen (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*)**

- Erhaltung eines für den LRT günstigen Nährstoffhaushaltes
- Erhaltung einer bestandsprägenden Bewirtschaftung

**91E0\* Auenwälder mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*)**

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten mit einem einzelbaum- oder gruppenweisen Mosaik verschiedener Entwicklungsstufen und Altersphasen

**9110 Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*)**

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen

**9160 Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Eichen-Hainbuchenwald (*Carpinion betuli*)**

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen
- Erhaltung eines bestandsprägenden Grundwasserhaushalts

**9190 Alte bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen mit *Quercus robur***

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen.

Erhaltungsziele der Arten nach Anhang II FFH-Richtlinie

***Cerambyx cerdo* (Großer Eichenbock, Heldbock)**

- Erhaltung von stieleichenreichen Waldbeständen in ihren verschiedenen Entwicklungsphasen
- Erhaltung geeigneter Brutbäume (insbesondere alte, zum Teil abgängige Stieleichen und Stämme mit Baumsaft exudierenden Wunden) vor allem an inneren und äußeren sonnenexponierten Bestandsrändern in Wald und Offenland

***Lucanus cervus* (Hirschkäfer)**

- 
- Erhaltung von alten eichenreichen Laub- oder Laubmischwäldern in ihren verschiedenen Entwicklungsphasen mit Totholz

***Myotis bechsteinii* (Bechsteinfledermaus)**

- Erhaltung von alten strukturreichen Laub- und Laubmischwäldern mit Höhlenbäumen als Sommerlebensraum und Jagdhabitat
- Erhaltung funktionsfähiger Sommerquartiere

***Myotis myotis* (Großes Mausohr)**

- Erhaltung von alten großflächigen, laubholzreichen Wäldern mit Totholz und Höhlenbäumen bevorzugt als Buchenhallenwälder als Sommerlebensraum und Jagdhabitat
- Erhaltung von funktionsfähigen Sommerquartieren.

## 5 Empfindlichkeit der FFH-Gebiete gegenüber Stickstoff- und Säureeintrag

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, sollen hier Critical Load-Werte als Grundlage für die quantitative Abschätzung der Empfindlichkeit von FFH-Lebensraumtypen gegenüber Stickstoffeinträgen im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung Anwendung finden.

Zur Festlegung von relevanten CL sind europaweit verschiedene Ansätze im Einsatz. Grundsätzlich unterscheidbar sind empirische CL, die anhand von Feld- und Laboruntersuchungen ermittelt werden, und modellierte CL, die unter Verwendung von Massen-Bilanz-Modellen erstellt werden.

### 5.1 Empirische Critical Loads

Bei den empirischen Critical Loads werden auf Erfahrungen und Felduntersuchungen beruhende Grenzwerte für einen Schadstoff einem bestimmten ökologischen Rezeptor bzw. einem definierten Ökosystem zugewiesen. Die Zuweisung solcher Erfahrungswerte basiert in der Regel auf mehrjährigen Beobachtungen aus wissenschaftlichen Feldstudien oder wissenschaftlichen Experimenten. Im Rahmen der Arbeiten des ICP Modelling & Mapping wird regelmäßig eine aktuelle Liste von empirischen Critical Load-Wertespannen für Stickstoffeintrag für repräsentative europäische Vegetationstypen veröffentlicht. Eine grundlegende Neubearbeitung fand im Jahr 2002 unter Federführung von Achermann und Bobbink statt. Die daraus resultierende sog. „Berner Liste“ wurde auf einem Workshop 2002 in Bern von europäischen Experten diskutiert und verabschiedet (Bobbink et al. 2003). Eine weitere umfassende Überarbeitung der Berner Liste hat im Jahr 2010 stattgefunden. Der Entwurfsstand einer neuen Liste empirischer Critical Loads für Stickstoffeintrag wurde auf einem CCE-Workshop im Juni 2010 in Nordwijkerhout/NL diskutiert. Das Ergebnis dieser Diskussion ist in eine aktuelle Liste empirischer Critical Loads für Stickstoffeintrag eingeflossen. Die Endfassung der Liste der empirischen Critical Loads sowie ergänzende Erläuterungen und Grundlagen sind veröffentlicht in Bobbink und Hettelingh 2011.

Die genannten Listen repräsentieren jeweils den aktuellen, auf europäischer Ebene verfügbaren empirischen Wissensstand zur Wirkung von Stickstoffeinträgen auf Pflanzen und Vegetationstypen. Da nicht zu allen Vegetationstypen eine vergleichbare Informationsbasis vorliegt, wird in der Liste der empirischen Critical Loads unterschieden zwischen „zuverlässigen Angaben“, „weitestgehend zuverlässigen Angaben“ und „Expertenurteil“. Handelt es sich bei den Tabellenwerten der empirischen CL lediglich um ein Expertenurteil, so ist davon auszugehen, dass die empirischen Erkenntnisse über die Belastbarkeitsschwellen noch vergleichsweise gering sind und wissenschaftlichen Studien mit eindeutigen Ergebnissen noch nicht vorliegen.

Eine Unterscheidung nach eutrophierender oder versauernder Wirkung wird in den empirischen Critical Loads nicht vorgenommen. Die angegebenen Critical Loads schließen negative Wirkungen durch Versauerung mit ein.

Die empirischen Critical Loads für eutrophierenden Stickstoffeintrag gemäß aktueller Fassung 2010 sind jeweils als Wertespanne mit einer Spannweite von in der Regel 5 - 10 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> angegeben. Vegetationstypen mit mittlerer Empfindlichkeit besitzen einen Critical Load etwa im Bereich von 10 - 20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (z. B. Wälder, feuchte und trockene Heiden, verschiedene Rasentypen). Die niedrigsten Werte betreffen mit 3(5) - 10 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> moos- und flechtendominierte Gebirgsvegetation, Hochmoore, ständig nährstoffarme Seen sowie Tundren-Vegetation. Die höchsten Werte mit 20 - 30 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> betreffen Salzmarschen, nährstoffreiche Niedermoore, genutzte Wiesen im Tiefland und niedrigen Bergland sowie mediterrane Gebüschformationen.

Ein Nachteil für die Verwendung der empirischen CL liegt in der relativ breiten Spanne der Tabellenwerte. Bei Bobbink und Hettelingh 2011 sind ergänzende Bewertungsfaktoren genannt, nach denen innerhalb der Spanne eine Einordnung im Einzelfall vorgenommen werden kann, soweit konkrete Kenntnisse des jeweiligen Standortes vorliegen. Als Bewertungsfaktoren werden Temperatur/Frostperiode, Bodenfeuchte, Verfügbarkeit basischer Kationen und Pflege-/Bewirtschaftungsintensität genannt. Diese Bewertungsfaktoren beinhalten aufgrund ihrer unscharfen Definition einen großen fachlichen Beurteilungsspielraum und gelten jeweils für das gesamte Vorkommensgebiet des zu beurteilenden Ökosystemtyps in Europa.

Die folgende Tabelle zeigt die Zuordnung der empirischen Critical Loads für Stickstoffeintrag nach Bobbink und Hettelingh 2011 zu den FFH-Lebensraumtypen, die hier näher zu betrachten sind.

**Tab. 5-1: Empirische Critical Loads gemäß aktueller Liste der empirischen Critical Loads**  
(nach Bobbink und Hettelingh 2011)

Natura 2000-Code (*prioritär)	Lebensraumtyp nach FFH	Vorkommen in FFH-Gebiet	Critical Load [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	EUNIS-Code Belastbarkeit
2310	Trockene Sandheiden mit <i>Calluna</i> und <i>Genista</i> (Dünen im Binnenland)	Kelsterbacher Wald	10-20	F4.2** zuverlässig
2330	Offene Grasflächen mit <i>Corynephorus</i> und <i>Agrostis</i> auf Binnendünen	Schwanheimer Düne Kelsterbacher Wald Schwanheimer Wald	8-15	E1.94/E1.95* Expertenvotum
3140	Stillgewässer mit Armleuchteralgen-Vegetation	Schwanheimer Düne	(10-20)***	C1.16** Expertenvotum
6510	Magere Flachlandmähwiesen	Schwanheimer Düne Schwanheimer Wald	20-30	E2.2* Expertenvotum
9110	Hainsimsen-Buchenwald	Kelsterbacher Wald Schwanheimer Wald	10-20	G1.6* Expertenvotum
9130	Waldmeister-Buchenwald (Asperulo-Fagetum)	Kelsterbacher Wald	10-20	G1.6* Expertenvotum

Natura 2000-Code (*prioritär)	Lebensraumtyp nach FFH	Vorkommen in FFH-Gebiet	Critical Load [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	EUNIS-Code Belastbarkeit
9160	Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Hainbuchenwald	Schwanheimer Wald	15-20	G1.A* Expertenvotum
9190	Alte bodensaure Eichenwälder mit <i>Quercus robur</i> auf Sandebenen	Kelsterbacher Wald Schwanheimer Wald	10-15	G1.8* Expertenvotum
*91E0	Erlen- und Eschenwälder und Weichholzaunen an Fließgewässern	Schwanheimer Wald	(10-20)****	--

\* Sichere Zuordnung des LRT zum genannten EUNIS-Vegetationstyp der Liste der empirischen CL.

\*\* LRT in etwa vergleichbar mit dem EUNIS-Vegetationstyp der Liste der empirischen CL

\*\*\* Die empirischen CL für Stillgewässer sind nur unter sehr engen Voraussetzungen auf den LRT 3140 anwendbar. Diese Voraussetzungen liegen hier streng genommen nicht vor (siehe weitergehende Ausführungen in Kapitel 5.3). Vorsorglich wird gleichwohl eine Prüfung anhand des CL für Stillgewässer vorgenommen

\*\*\*\* Für Erlen- und Eschenwälder wird hilfsweise und vorsorglich der für Buchenwälder bei Bobbink und Hettelingh 2011 angesetzte Critical Load angenommen. Streng genommen existiert für Auenwälder kein eindeutiger empirischer Critical Load.

## 5.2 Konkretisierte Critical Loads durch standort- und vegetationstypspezifische Modellierung

### 5.2.1 Grundsätze der Modellierung von Critical Loads

Die zweite Methode, Critical Loads für den Eintrag von Stickstoff- und Säureeintrag zu bestimmen, ist die Modellierung von Critical Loads. Die Modellierung von Critical Loads ermöglicht gegenüber den empirischen Critical Loads eine exaktere Bestimmung für verschiedenste Standortausprägungen. Zudem ist eine Differenzierung nach Eutrophierungswirkungen (relevant ist nur Stickstoffeintrag = CLnutN) und Versauerungswirkungen (relevant ist Stickstoff- und Schwefeleintrag = CL(S+N)) möglich. Die Modellierung ist allerdings komplexer und es stehen verschiedene Modelle zur Auswahl, die häufig nur vom Anwender selbst genutzt werden können. Wesentliche Standards und Grundlagen für die Modellierung von Critical Loads sind im europaweit gebräuchlichen sog. ICP-Mapping-Manual zusammengestellt (siehe dazu ausführlich ICP Modelling & Mapping 2004 ff.). Grundsätzlich wird zwischen dynamischen und steady-state-Modellen unterschieden. Dynamische Modelle dienen der Simulation zeitlicher Abfolgen der wichtigsten Prozesse im Ökosystem in Reaktion auf eine retrospektive oder/und prognostizierte Zeitreihe von Stoffeintragsraten sowie wahlweise anderer sich ändernder Umweltfaktoren. Besondere Bedeutung haben dynamische Modelle für die Ermittlung von biologischen Reaktionen auf Überschreitungen der Critical Loads. Im Unterschied zu den dynamischen Modellen geht der steady-state-Ansatz davon aus, dass ein Stoffkreislauf in einem Ökosystem noch nicht überbelastet ist und das bestehende natürliche (Fließ-)Gleichgewicht im Zusammenwirken mit einem ungestörten Wasser- und Ener-

giehaushalt langfristig stabil erhalten werden soll. Eine einfache Form der Modellierung ist die sog. einfache Massenbilanz (Simple Mass Balance = SMB). Diese Methode berücksichtigt folgende stickstoffverbrauchenden Prozesse eines Standortes:

- N-Aufnahme in der Pflanze,
- N-Auswaschung mit dem Sickerwasser,
- Denitrifizierung (Umwandlung von  $\text{NO}_3\text{-N}$  in gasförmiges  $\text{N}_2\text{-N}$  und Abgabe in die Atmosphäre) und
- Immobilisierung (Festlegung von leicht verfügbaren N-Verbindungen im Humus).

Die SMB-Methode ist auch im Manual zur Ermittlung von Critical Loads (ICP Modelling & Mapping 2004ff.) als Standard-Methode empfohlen. Der Vorteil liegt in der einfachen rechnerischen Nachvollziehbarkeit sowie in der breiten Akzeptanz in der wissenschaftlichen Öffentlichkeit. Sie wird seit vielen Jahren in mittlerweile 27 Ländern Europas bei der modellgestützten Berechnung von Critical Loads eingesetzt.

Für die Ermittlung von Critical Loads unter Berücksichtigung einer bereits stattgefundenen Standort- und Vegetationsveränderung werden in Deutschland von der Firma ÖKO-DATA unter Berücksichtigung der Vorgaben des ICP Modelling & Mapping – Manuals standorttypspezifische und vegetationstypspezifische Critical Loads auf der Basis des BERN/SMB- bzw. des BERN/DECOMP.DE-Modellsystems berechnet. Die Firma ÖKO-DATA in Strausberg ist das sog. National Focal Centre des ICP Modelling & Mapping für Deutschland. Das BERN-Modell (Bioindication for Ecosystem Regeneration towards Natural conditions bzw. Bioindikative Ermittlung von Regenerationspotenzialen Natürlicher Ökosysteme) besteht im Kern aus einer umfassenden Datenbank mitteleuropäischer Arten und Pflanzengesellschaften mit einer Zuordnung der jeweiligen ökologischen Nische in Bezug auf ausgewählte abiotische Standortparameter (z.B. pH-Wert, Basensättigung, Klima). Das BERN-Modell ermöglicht in Verbindung mit dem SMB-Modell oder dem DECOMP.DE-Modell die Berücksichtigung spezifischer Standortansprüche von Pflanzengesellschaften bei der Modellierung von Critical Loads. Das DECOMP-Modell, welches im Original für den Kohlenstoffhaushalt entwickelt und als DECOMP.DE für die Anwendung auf den Stickstoffhaushalt modifiziert ist, wurde für Projekte entwickelt, die im Auftrag des Umweltbundesamtes zur Umsetzung der Verpflichtungen Deutschlands im Rahmen der Genfer Luftreinhalte-Konvention durchgeführt werden. Das auf der Nutzung dynamischer Modellansätze basierende DECOMP.DE-Modell zur Bestimmung von Critical Loads hat den Vorteil, dass es im Gegensatz zum SMB-Modell signifikante Veränderungen des ökosysteminternen Stoffkreislaufes durch massive Stoffeinträge in der Vergangenheit berücksichtigt. Der wesentliche Unterschied zur SMB-Methode besteht dabei in einer dynamischen Modellierung des Gleichgewichtes aus immobilisierenden und mineralisierenden Prozessen. Das SMB-Modell geht von dem typischen unbelasteten Ökosystemzustand aus, bei dem die Immobilisierungsrate für N-Verbindungen in aller Regel die Mineralisierungsrate für N-Verbindungen übersteigt.

Eine Modellierung von FFH-spezifischen Critical Loads wurde auch im Rahmen eines FE-Vorhabens im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen mit dem Titel „Untersuchung und

Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope“ (FE 84.0102/2009) durchgeführt (BMVBS 2013). Das Ziel dieses FE-Vorhabens bestand darin, eine Methodenkonvention für die Abarbeitung des Problemfeldes Stickstoffeintrag in der FFH-Verträglichkeitsprüfung für Straßenbauvorhaben zu erarbeiten. Dabei wurde auch eine allgemeingültige Liste von FFH-spezifischen Critical Loads für FFH-Lebensraumtypen und Anhang-II-Pflanzenarten in Deutschland erstellt. Diese Liste kombiniert eine Modellierung von Critical Loads mit Hilfe der Modellkombination BERN/SMB und die empirischen Critical Loads. Die Methodik wurde innerhalb dieses FE-Vorhabens mit zahlreichen Experten intensiv diskutiert (siehe Fn. 1 auf Seite 12). Es bestand überwiegend die Auffassung, dass die Modellierung eine sinnvolle Ergänzung der empirischen Critical Loads darstellt. Die Ergebnisse des FE-Vorhabens zeigen, dass die Modellierungsergebnisse grundsätzlich eine hohe Übereinstimmung mit den empirischen Critical Loads zeigt. Die Ergebnisse des FE-Vorhabens zeigen auch, dass die Modellanwendungen DECOMP.DE bzw. SMB-Modell zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommen.

## **5.2.2 Modellierung in Bezug auf die betroffenen FFH-Gebiete**

Zur Überprüfung bzw. Konkretisierung der Critical Loads für die FFH-Lebensraumtypen in den hier betrachteten FFH-Gebieten wurde bereits für die FFH-Prüfung zur EBS-Verbrennungsanlage - einem Vorhaben der ebenfalls im Industriepark Höchst ansässigen Firma Thermal Conversion Compound GmbH - eine Modellierung von Critical Loads für relevante Lebensraumtypen in den drei umliegenden FFH-Gebieten durch das Büro ÖKO-DATA durchgeführt. Diese Modellierung wurde aktuell im Jahr 2019 durch IBE/ÖKO-DATA überprüft und aktualisiert (Anlage 4). Die Modellierung erfolgte mit dem Modellsystem BERN/DECOMP.DE. Notwendig für eine solche Modellierung sind konkrete Angaben zur Bodenform, zum Vegetationstyp (Pflanzengesellschaft) sowie zum Klima (durchschnittlicher Jahresniederschlag und Jahresmitteltemperatur).

Als Grundlage für die Modellierung wurden insgesamt 50 repräsentative Beurteilungspunkte (BP) in den verschiedenen FFH-Lebensraumtypen der betrachteten FFH-Gebiete festgelegt (siehe zur Lage der Punkte die Kartenanlagen 1 und 2). Die Beurteilungspunkte wurden so gelegt, dass die verschiedenen Standortausprägungen der einzelnen FFH-Lebensraumtypen in den betrachteten FFH-Gebieten möglichst umfassend repräsentiert sind. Die Unterscheidung der Standorttypen erfolgte anhand der Bodenkarte von Hessen im Maßstab 1:25.000. Die Ausprägung der Vegetation sowie die für die Bodenform repräsentativen bodenchemischen Verhältnisse (pH-Wert, C/N-Verhältnis, Kationenaustauschkapazität und Basensättigung) wurde in den Jahren 2012 und 2013 vor Ort überprüft. Das Klima wurde nach Daten des DWD bestimmt. Die Pflanzengesellschaften wurden anhand einer Vegetationsaufnahme an den betrachteten Beurteilungspunkten im Jahr 2018 durch PGNU aktualisiert (Anlage 5). Die folgenden Tab. 5-2 und Tab. 5-3 zeigen die Ergebnisse der CL-Modellierung im Überblick (siehe weitergehend Anlage 4). Angegeben sind Critical Loads für den eutrophierenden Stickstoffeintrag (CLnutN in der Einheit  $\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) sowie Critical Loads für versauernden Stickstoff- und Schwefeleintrag (CL(S+N) in der Einheit  $\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ). Die Einheit eq steht für

Säureäquivalente. Ein Säureäquivalent besitzt das Potenzial, im Boden 1 mol H<sup>+</sup>-Ionen freizusetzen.

Für das Vorkommen von LRT 2310 (Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista) im Schwanheimer Wald wurde kein Beurteilungspunkt gesetzt und es wurde kein Critical Load modelliert. Das kleinräumige Vorkommen ist auf den südlichen Teil des Schwanheimer Waldes begrenzt, für den auch bei konservativer Betrachtung allenfalls N-Depositionsraten von 0 – 0,1 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> zu erwarten sind. Daher können hier ohne nähere Begutachtung Beeinträchtigungen durch das betrachtete Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau ausgeschlossen werden. Auch am Beurteilungspunkt 37 lässt sich aufgrund der aktuellen Vegetationsaufnahmen die Einordnung als LRT 9160 laut GDE hinterfragen, da bei der Kartierung ein Hainsimsen-Buchenwald festgestellt wurde (LRT 9110). Am BP 51 wurde ein Hainbuchenwald (LRT 9160) anstelle eines Erlen-Eschen-Auenwaldes (LRT 91E0 laut GDE) festgestellt. An BP 8 wurde ein Borstgrasrasen (LRT 6230) statt eines Submediterranen Halbtrockenrasens (LRT 6212) festgestellt. Die Modellierung der CL orientiert sich an diesen Punkten jeweils am aktuell kartierten Vegetationstyp.

Die Bodenanalysen haben auch gezeigt, dass in einigen Fällen für den Lebensraumtyp ungewöhnliche Standortverhältnisse vorliegen, so dass ausnahmsweise eine von der Norm abweichende Zuordnung des jeweiligen LRT-Standortes zu einem empirischen Critical Load geboten ist. Dies gilt für die Beurteilungspunkte 40, 42 bis 48, die dem LRT 9190 zuzuordnen sind. Dort liegt die aktuell gemessene Basensättigung zwischen 20% und 100%, d. h. die Standorte sind nach der bodenkundlichen Kartieranleitung als mittelbasisch bis basenreich einzustufen. Damit kann man diese Standorte entsprechend der Liste der empirischen Critical Loads nach Bobbink und Hettelingh 2011 nicht mehr zu den „*Acidophilous Quercus-dominated woodland*“ (CLempN 10-15 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) rechnen, zu denen der LRT 9190 typischerweise gezählt wird, sondern muss sie unter „*Meso- and eutrophic Quercus woodland*“ (CLempN 15 - 20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) einordnen.

Vergleicht man die Ergebnisse der Modellierung mit den empirischen CL-Spannen, liegen bei 41 Beurteilungspunkten die modellierten CL innerhalb der empirischen CL-Spannen oder weichen nur um ca. 1 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ab. Bei den anderen 12 Beurteilungsfällen gibt es höhere Abweichungen. Diese Abweichungen nach oben oder unten haben ihre Begründung in den für den jeweiligen LRT eher untypischen Standortverhältnissen oder untypischen Nutzungsformen bzw. -intensitäten, die aus fachlichen Gründen für die CL-Modellierung zugrunde gelegt wurden, etwa weil der Managementplan einen Nutzungsverzicht vorsieht. Die Erläuterungen finden sich im Einzelnen in Anlage 4, Kap. 6.3.

Für den Gewässer-LRT 3140 „Stillgewässer mit Armelechteralgen-Vegetation“ in der Schwanheimer Düne ist ebenfalls keine Modellierung von Critical Loads durchgeführt worden, da die Methode auf Gewässer nicht übertragbar ist (siehe dazu Kapitel 5.3).

**Tab. 5-2: Modellierete Critical Loads für die Beurteilungspunkte in der Schwanheimer Düne und im Kelsterbacher Wald (nach IBE/ÖKO-DATA 2019 – Anlage 4)**

BP	LRT	Bodenkarte 1:25.000	Zielgesellschaft	CLnutN [kgN/ha*a]	CL(S+N) [eq/ha*a]	Empirische CL [kgN/ha*a]		CLnutN / Clemp*
						Min	Max	
<b>FFH-Gebiet "Schwanheimer Düne"</b>								
4	2330	Syrosem, Ranker	Spergulo-Corynephorum canescentis (TX. 1928) LIBB. 1933	16	2438	8	15	1
5	2330	Braunerde	Agrostietum coarctatae KOBENDZA 1930 (= Agrostietum vinealis KOB. 1930)	16	2441	8	15	1
6	2330	Parabraunerde	Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyl- lae LIBBERT 1933	18	2528	8	15	3
7	2330	Parabraunerde	Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyl- lae LIBBERT 1933	18	2528	8	15	3
9	2330	Braunerde; erodiert	Spergulo-Corynephorum canescentis (Cladonia-Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	16	1836	8	15	1
10	6510	Braunerde	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	24	1960	20	30	
11	6510	Braunerde; erodiert	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	24	1522	20	30	
12	6510	Parabraunerde	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	28	1747	20	30	
<b>FFH-Gebiet "Kelsterbacher Wald"</b>								
1	2310- E	Braunerde (Maßnahme Flughafen)	Genisto pilosae-Callunetum OBERD. 1938	18	2233	10	20	
2	2330- E	Braunerde (Maßnahme Flughafen)	Airo caryophylleae-Festucetum ovinae TX. 1955	16	2740	8	15	6
3	2330- E	Braunerde (Maßnahme Flughafen)	Airo caryophylleae-Festucetum ovinae TX. 1955	16	2740	8	15	6
16	9110	Braunerde	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	17	2808	10	20	
19	9110	Parabraunerde	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	18	2809	10	20	
25	9130	Syrosem, Ranker	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	16	2754	10	20	
26	9130	Braunerde	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	16	2462	10	20	
27	9130	Parabraunerde	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	17	2223	10	20	
40	9190	Syrosem, Ranker	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	18	2800	15	20	
41	9190	Braunerde	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	18	4433	10	15	3

\*) Abweichung des modellierten CLnutN von den empirischen CL (Angabe für Werte >1 kg)  
2310-E und 2330-E = Entwicklungsflächen im Bereich der Fraport-Ausgleichsmaßnahmen im Kelsterbacher Wald

**Tab. 5-3: Modellierte Critical Loads für ausgewählte Beurteilungspunkte im Schwanheimer Wald** (nach IBE/ÖKO-DATA 2019 – Anlage 4)

BP	LRT	Bodenkarte 1:25.000	Zielgesellschaft	CLnutN [kgN/ha*a]	CI(S+N) [eq/ha*a]	Empirische CL [kgN/ha*a]		CLnutN /Clomp*
						Min	Max	
<b>FFH-Gebiet "Schwanheimer Wald"</b>								
8	6212/ 6230	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser	Polygalo-Nardetum strictae (PRSG. 1953) OBERD. 1957	17	2184	10	15	2
13	6510	Gley oder Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	27	2199	20	30	
14	6510	Gley mit abgesenktem Grundwasser	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	27	2199	20	30	
15	6510	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	27	2052	20	30	
20	9110	Parabraunerde	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	18	2260	10	20	
21	9110	Gley mit abgesenktem Grundwasser	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides- Subass.) MEUSEL 1937	18	2967	10	20	
22	9110	Gley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides- Subass.) MEUSEL 1937	13	2723	10	20	
23	9110	Anmoorgley	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides- Subass.) MEUSEL 1937	13	2022	10	20	
24	9110	Anmoorgley	Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrium filix-femina-Subass.) MEUSEL 1937	15	2775	10	20	
37	9110	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser	Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrium filix-femina-Subass.) MEUSEL 1937	22	3604	10	20	2
28	9160	Braunerde	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	12	3213	15	20	-3
29	9160	Parabraunerde	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	14	2418	15	20	-1
30	9160	Parabraunerde	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	14	2418	15	20	-1
31	9160	Gley-Pseudogley-Para- braunerde mit abgesenk-tem Grundwasser	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	15	3132	15	20	
32	9160	Gley-Braunerde	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	12	2531	15	20	-3
33	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	12	2986	15	20	-3
34	9160	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	14	2752	15	20	-1
35	9160	Pseudogley	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	14	2372	15	20	-1
36	9160	Gley	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	20	2623	15	20	
38	9160	Gley-Pseudogley- Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	15	2472	15	20	
39	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	14	2764	15	20	-1

\*) Abweichung des modellierten CLnutN von den empirischen CL (Angabe für Werte >1 kg)

BP	LRT	Bodenkarte 1:25.000	Zielgesellschaft	CLnutN [kgN/ha*a]	Cl(S+N) [eq/ha*a]	Empirische CL [kgN/ha*a]		CLnutN /Clemp*
						Min	Max	
<b>FFH-Gebiet "Schwanheimer Wald"</b>								
51-1	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser	Stellario holosteeae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	9	3599	15	20	-6
51-2	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser	Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	14	3825	15	20	-1
42	9190	Braunerde	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	18	4414	15	20	
43	9190	Parabraunerde	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	19	3575	15	20	
44	9190	Parabraunerde	Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHM. et TÜXEN 1958	17	3242	10	15	2
45-1	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	15	3473	15	20	
45-2	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser	Querco roboris-Carpinetum betuli TX. 1937 (typ. Subass.)	16	2585	15	20	
46-1	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	18	3509	15	20	
46-2	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser	Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	15	2503	15	20	
47	9190	Gley mit abgesenktem Grundwasser	Betulo-Quercetum petraeae (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	21	4636	15	20	1
48	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	21	2797	15	20	1
49	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser	Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHM. et TÜXEN 1958	11	4050	10	15	
50	91E0	Anmoorgley	Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	14	2548	-	-	
52	91E0	Anmoorgley	Cardamino armarae-Alnetum glutinosae (MEIJER-DREES 1936) PASSARGE 1968	14	4477	-	-	

\*) Abweichung des modellierten CLnutN von den empirischen CL (Angabe für Werte >1 kg)

### 5.3 Gewässer-LRT 3140 im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne

Einen Sonderfall stellt das Gewässer der Schmidt'schen Grube im FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“ dar, welches als Lebensraumtyp 3140 „Nährstoffarme bis mäßig nährstoffreiche kalkhaltige Stillgewässer mit Armleuchteralgen“ eingestuft wird. Gewässersysteme weisen einen Nährstoffhaushalt auf, der sich aus verschiedenen Gründen von terrestrischen Lebensräumen deutlich unterscheidet. Dies gilt sowohl für marine Gewässer als auch für Fließ- und Stillgewässer im Binnenland. Bei Gewässern gilt im Gegensatz zu terrestrischen Ökosystemen, dass nicht Stickstoff, sondern in aller Regel Phosphor der für das Biomassewachstum limitierende Nährstoff ist. Eine entsprechende Phosphor-Limitierung ist aufgrund der mesotrophen Ausprägung und der Morphologie auch für die Schmidt'sche Grube anzunehmen. Des Weiteren spielt der Anteil der Stickstoff-Deposition über den Luftpfad gegenüber den Nährstoffeinträgen aus anderen Quellen im Einzugsgebiet - Grundwasserzustrom oder Fließgewässerzufluss – eine untergeordnete Rolle. Auch unterliegen die Stoffakkumula-

tions- und Stoffumsatzprozesse im Gewässer für stickstoffhaltige Substanzen anderen Gesetzmäßigkeiten als die Stoffumsatzprozesse im Boden. Bei Gewässern spielt z.B. das Wasservolumen, die Schichtung des Wasserkörpers im Jahresgang und die mittlere Aufenthaltszeit des Wassers im Gewässerkörper eine wesentliche Rolle für die Frage der Anreicherung oder Verdünnung von Nährstoffen. Insofern eignen sich Critical Loads für Stickstoffeintrag, die sich nur auf den durchschnittlichen Stoffeintrag aus der Luft pro Flächeneinheit beziehen, nur eingeschränkt als Beurteilungsmaßstab für den Schutz der Ökologie von Stillgewässern.

Die für terrestrische Ökosysteme vorhandenen Modellansätze lassen sich nicht zur Bestimmung von Critical Loads für Gewässer nutzen. Daher kommen – wenn überhaupt - ausschließlich empirische Critical Loads als Datenbasis als Beurteilungsmaßstab für Stillgewässer in Frage. Der aktuelle, auf europäischer Ebene verfügbare Wissensstand zu den empirischen Critical Loads ist, wie schon in Kapitel 5.1 dargestellt, in Bobbink und Hettelingh 2011 veröffentlicht. Diese Veröffentlichungen bilden die wissenschaftlichen Referenzquellen auch für alle nationalen Listen, die Angaben zu empirischen Critical Loads enthalten. Aufgrund der oben schon skizzierten Besonderheiten bei Stillgewässern ist bei der Zuordnung von Critical Loads nach Bobbink et al 2002 (überholt) bzw. Bobbink und Hettelingh 2011 auf in Deutschland vorkommende Ausprägungen bestimmter Stillgewässer-Lebensraumtypen genau darauf zu achten, welche Anwendungsbedingungen und Datengrundlagen den „Original-Critical Loads“ nach Bobbink und Hettelingh 2011 zugrunde liegen.

Die empirischen Critical Loads nach Bobbink und Hettelingh (2011) sind in einer Liste zusammengefasst, die sich auf eine europaweit standardisierte Ökosystemklassifikation (sog. EUNIS-Klassen) bezieht. In Anhang 1 in Bobbink und Hettelingh 2011 wird darüber hinaus eine Zuordnung zwischen den Ökosystemtypen nach EUNIS und den FFH-Lebensraumtypen vorgenommen. Dabei wird unterschieden zwischen eindeutig vergleichbaren und eingeschränkt vergleichbaren Lebensraumtypen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wesentlichen Angaben zu den empirischen Critical Loads für Stillgewässer im Binnenland nach Bobbink und Hettelingh 2011.

Tab. 5-4: Empirische Critical Loads nach Bobbink und Hettelingh 2011 für Stillgewässer-LRT im Binnenland

Ökosystemtyp nach EUNIS	Critical Load [kg Nha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ] (Zuverlässigkeit) <sup>a)</sup>	Vergleichbarer FFH-Lebensraumtyp	Eingeschränkt vergleichbarer FFH-Lebensraumtyp
Softwater lakes (permanent oligotrophic waters, including softwater lakes; boreal and alpine lakes) (C.1.1) <sup>b)</sup>	3-10 ##	3110 – Sehr nährstoffarme und basenarme Stillgewässer mit Strandlings-Gesellschaften, 3130 – Nährstoffarme bis mäßig nährstoffreiche Stillgewässer mit Strandlings- oder Zwergbinsen-Gesellschaften	3120 <sup>d)</sup> (3170) <sup>d)</sup>
Dune slack pools (permanent oligotrophic waters) (C.1.16)	10-20 (#)		3140 – Nährstoffarme bis mäßig nährstoffreiche kalkhaltige Stillgewässer mit Armleuchteralgen
Permanent dystrophic lakes, ponds and pools <sup>c)</sup> (C.1.4)	3-10 (#)	3160 – Dystrophe Stillgewässer	

- a) The reliability is qualitatively indicated by ## = reliable; # = quite reliable and (#) = expert judgement  
 b) This critical load should only be applied to oligotrophic waters with low alkalinity with no significant agricultural or other human inputs. Apply the lower end of the range to boreal, sub-Arctic and alpine lakes, and the higher end of the range to Atlantic soft waters.  
 c) This critical load should only be applied to waters with low alkalinity with no significant agricultural or other direct human inputs. Apply the lower end of the range to boreal, sub-Arctic and alpine dystrophic lakes.  
 d) Diese Lebensraumtypen kommen in Deutschland nicht vor.

Aus der Bezeichnung der Ökosystemtypen bzw. aus den Zusatzanmerkungen zur Liste der empirischen Critical Loads nach Bobbink und Hettelingh 2011 wird zunächst deutlich, dass die vorgeschlagenen Critical Loads nur für Gewässer gelten, die einen oligotrophen bzw. dystrophen, d.h. einen eindeutig nährstoffarmen Charakter haben und keinem signifikanten Einfluss durch landwirtschaftliche oder andere menschliche Nutzung unterliegen. Derartige Nutzungseinflüsse können insbesondere bei Stillgewässern der Lebensraumtypen 3110, 3130 und 3160 schnell dazu führen, dass stoffliche Ungleichgewichte entstehen und die vorgeschlagenen empirischen CL keine angemessene Beurteilung der Empfindlichkeit der aktuell vorkommenden und der zukünftig regenerierbaren Ausprägungen erlauben.

Der hier in der Schwanheimer Düne vorhandenen LRT-Typ 3140 „Nährstoffarme bis mäßig nährstoffreiche kalkhaltige Stillgewässer mit Armleuchteralgen“ ist bei Bobbink und Hettelingh 2011 auch nur mit Einschränkungen dem empirischen Critical Load für den Gewässertyp „Dune slack pools (permanent oligotrophic waters)“ zugeordnet. Aus der Bezeichnung des Gewässertyps, für den der Critical Load von 10 - 20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> definiert wurde, ergeben sich Einschränkungen. In der Typ-Bezeichnung wird eindeutig von einer oligotrophen Ausprägung sowie einem Gewässer in einem Dünengebiet gesprochen. Derartige Gewässer in Dünentälern sind typisch für die Nord- und Ostseeküste. Ähnlichkeiten zum LRT 3140 er-

geben sich aber aufgrund des Vorkommens von Armelechteralgen und des teilweise kalkhaltigen Gewässerchemismus.

Weitere Beschränkungen der Geltung der empirischen Critical Loads ergeben sich aus den in Bobbink und Hettlingh 2011 auf S. 53 ff. enthaltenen Erläuterungen und Datengrundlagen zu den verschiedenen Stillgewässertypen (inland surface water habitats), für die Critical Loads abgeleitet werden. Danach liegen Erkenntnisse vor zu sog. atlantischen Weichwasserseen (atlantic soft-water lakes), Dünental-Gewässern (dune slack pools) und oligotrophen Gewässern der borealen und alpinen Zone (oligotrophic boreal und alpine lakes). Für die erstgenannte Kategorie der Weichwasserseen wird klargestellt, dass es sich um schwach gepufferte Gewässer mit sehr geringen bzw. fehlenden Kalkgehalten handelt. Die Gewässer liegen typischerweise in sandigen Substraten, sind flach ausgebildet, ungeschichtet, d.h. ganzjährig voll durchmischt, besitzen jahreszeitlich und witterungsbedingt schwankende Wasserstände und werden überwiegend durch Regenwasser oder durch Grundwasser aus sauren Substraten gespeist. Die zweite zur Bestimmung der empirischen Critical Loads für Stickstoffeintrag untersuchte Kategorie, die Dünental-Gewässer, werden dadurch charakterisiert, dass sie nur in den europäischen Küstenarealen vorkommen und typischerweise einen höheren Basen- bzw. Kalkgehalt aufweisen. Diese Gewässertypen zeichnen sich typischerweise durch eine Unterwasser-Vegetation aus Armelechteralgen (*Chara*-Arten), Laichkräutern (*Potamogeton*-Arten) und Küsten-Brachsenkräutern (*Isoetes*-Arten) aus. Critical Loads können für diesen Gewässertyp insbesondere deswegen relevant, weil diese Gewässer hydrologisch isoliert liegen, d.h. durch räumlich sehr begrenzte Stau- oder Grundwasserkörper gebildet werden. Aus diesem Grund können die Ursachen für eine Gewässer-Eutrophierung eher in einem atmosphärischen Eintrag oder in einer hohen Wasservogeldichte begründet sein als in einem Zustrom über das Grundwasser aus einem größeren Einzugsgebiet. Die dritt-genannte Kategorie ist auf alpine und boreale Gewässer außerhalb des mitteleuropäischen Flach-, Hügel- und Berglandes beschränkt.

Diese Erläuterungen zu den empirischen Critical Loads in Bobbink und Hettlingh 2011 zeigen, dass der Maßstab der Critical Loads vor allem für solche Stillgewässer gilt, die ein kleines Einzugsgebiet haben und überwiegend durch Regenwasser oder lokale Grundwasservorkommen gespeist sind. Damit einher geht eine lange Aufenthaltsdauer des Wassers im See, so dass die dem Konzept der Critical Loads zugrunde liegende Bedingung langjähriger Anreicherungsprozesse für Stickstoffverbindungen gegeben ist.

Die Schmidt'sche Grube im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne ist aber ein typischerweise grundwasserdurchströmtes Abtragungsgewässer in einer Flussniederung, die durch vergleichsweise hohe Grundwasserströmungsgeschwindigkeiten geprägt ist. Insofern ist für die Schmidt'sche Grube ein regelmäßiger Wasseraustausch über den Grundwasserstrom zu erwarten. Nach Angaben der Grunddatenerfassung (IBL/BFS 2003) handelt es sich auch nicht um ein Gewässer mit oligotropher, d.h. nährstoffarmer Ausprägung, sondern um ein mesotrophes Gewässer an der Grenze zu eutrophen Verhältnissen. Aus der Morphologie des Gewässers lässt sich ebenfalls ein mesotropher Zielzustand ableiten. Das Erreichen von echten oligotrophen Verhältnissen ist aufgrund der umgebenden Nutzungsintensität und der

vergleichsweise geringen Wassertiefe eher unwahrscheinlich. Oligotrophe Verhältnisse sind auch gar nicht notwendig, um den definierten Zielarten *Nitella mucronata* und *Chara vulgaris* einen geeigneten Lebensraum zu bieten (siehe Kapitel 4.1).

Der LRT 3140 wird – wie dargestellt – nach Bobbink und Hettelingh 2011 als eingeschränkt vergleichbar mit dem Gewässertyp „Dune slack pools (permanent oligotrophic waters)“ (EUNIS-Typ C.1.16) eingestuft. Für diesen Gewässertyp ist ein Critical Load von 10 - 20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> festgelegt. Dieser Critical Load besitzt den Charakter einer Expertenschätzung, d.h. wissenschaftliche Studien, aus denen eine eindeutige Empfindlichkeitsschwelle abgeleitet werden kann, liegen nicht vor.

Obwohl die Schmidt'sche Grube vom Gewässertyp her den bei Bobbink und Hettelingh 2011 definierten Anwendungsbedingungen für die gewässerbezogenen Critical Loads nicht eindeutig entspricht, wird hilfsweise eine Critical Load-Betrachtung durchgeführt.

Da die Schmidt'sche Grube aus mehreren Gründen als weniger empfindlich gegenüber Stickstoffeintrag eingestuft werden kann als der korrespondierende Gewässertyp „Dune slack pools (permanent oligotrophic waters)“, wird im Folgenden für die Beurteilung der Wirkungen des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau der mittlere Wert der Critical Load-Spanne als Beurteilungswert herangezogen, d.h. ein Wert von **15 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>**.

Folgende Argumente sprechen dafür, dass man mit der Nutzung des mittleren Wertes der Critical-Load-Spanne von 10 - 20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> auf der sicheren Seite liegt:

- Bei der Schmidt'schen Grube handelt es sich nicht um ein oligotrophes Gewässer, sondern um ein mesotrophes Gewässer
- Die vorkommenden Armeuchteralgen-Zielarten sind nicht als besonders eutrophierungsempfindlich bekannt und nach aktueller Roten Liste als ungefährdet eingestuft
- Eine besondere Versauerungsgefährdung liegt nicht vor, da das Gewässer kalkhaltig ist
- Die Schmidt'sche Grube ist von ihrer Hydrologie her als weniger empfindlich gegenüber atmosphärischem Nährstoffeintrag einzustufen, da das Gewässer durch einen größeren Auen-Grundwasserkörper gespeist und durchflossen wird. Dem gegenüber liegen Dünenal-Gewässer hydrologisch isoliert, d.h. sie werden typischerweise durch räumlich sehr begrenzte Stau- oder Grundwasserkörper gebildet.

## 6 Vorbelastung der FFH-Gebiete mit Stickstoff- und Säureeinträgen

Für die Beurteilung der Frage, ob erhebliche Beeinträchtigungen infolge von Stickstoffeinträgen in einem FFH-Gebiet ausgeschlossen werden können, ist neben der Zusatzbelastung von Bedeutung, inwieweit bereits insgesamt, d.h. durch die vorhandene bzw. zukünftig zu erwartende Gesamtbelastung (Vorbelastung + Zusatzbelastung) kritische Schwellenwerte wie die Critical Loads erreicht oder überschritten werden. Als Grundlage dafür wird im Folgenden die Größenordnung der Vorbelastung abgeschätzt.

Daten der Vorbelastung mit Stickstoffeinträgen müssen die unterschiedlichen Stickstoffverbindungen und Depositionspfade berücksichtigen, aus denen eutrophierende Stickstoffeinträge resultieren. Bei den Stickstoffverbindungen sind im Wesentlichen die aus der Landwirtschaft stammenden reduzierten Verbindungen – Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Umwandlungsprodukte – und die vor allem aus Verbrennungsprozessen z.B. des Verkehrs stammenden Stickoxide (Stickstoffmonoxid  $\text{NO}$  und Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$ , in der Summe  $\text{NO}_x$ ) mit ihren Umwandlungsprodukten relevant. Sowohl die reduzierten als auch die oxidierten Stickstoffverbindungen deponieren in Abhängigkeit von ihrer Aufenthaltsdauer in der Atmosphäre mit entsprechenden Umwandlungsprozessen auf unterschiedlichen Depositionspfaden. Unterschieden werden können nasse Deposition, trockene Sedimentation von Stäuben sowie trockene Deposition nicht sedimentierender Partikel oder Gase. Alle genannten Stoffgruppen und Depositionspfade sind für die Ermittlung des Gesamt-Stickstoffeintrags an einem Standort zu berücksichtigen. Betrachtet man darüber hinaus Säureeinträge, so ist neben den reaktiven Stickstoffverbindungen Schwefeldioxid  $\text{SO}_2$  zu berücksichtigen.

Ausgangspunkt für die Darstellung der Stickstoff- und Säureeinträge ist ein aktueller deutschlandweiter Datensatz des Umweltbundesamtes (UBA-Datensatz 2013-2015). In diesem Datensatz werden deutschlandweit summarisch die Hintergrunddepositionen unter Berücksichtigung aller relevanten Stickstoff- bzw. Säure-Emissionsquellen einschließlich Verkehr als Mittel für die aktuell verfügbaren Referenzjahre enthalten (siehe Kapitel 6.1). Nicht berücksichtigt sind im UBA-Datensatz aber Immissions- bzw. Depositionsbeiträge, die aufgrund weiterer Vorhaben, die im Jahr 2009 noch nicht realisiert waren oder die in ihrem Nahbereich <1.000 m erhöhte Depositionsraten verursachen, welche aufgrund der räumlichen Auflösung des UBA-Datensatzes dort nicht hinreichend abgebildet werden können. Für den betrachteten Raum ist insoweit der kapazitive Flughafenausbau Frankfurt Main (siehe Kapitel 6.2) sowie die unmittelbar am Westrand des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne verlaufende Leunastraße relevant (siehe Kapitel 6.3). Zudem werden hier vorsorglich auch die Stickstoff- und Säureeinträge der EBS-Verbrennungsanlage im Industriepark Höchst betrachtet (Bosch & Partner GmbH 2013).

### 6.1 UBA-Datensatz 2013-2015

Die aktuellsten flächendeckenden Datensätze des Umweltbundesamtes (UBA) zur Gesamtdeposition von Stickstoff und Säure als Hintergrundbelastung liefern einen mehrjährigen Mit-

telwert für die Jahre 2013-2015. Sie wurden im Rahmen des FE-Vorhabens PINETI III – Pollutant Input and EcosysTem Impact; Schaab et al. 2018 erarbeitet und lösen den Datensatz aus 2009 (Kruit et al. 2014) ab. Der Datensatz zu Stickstoff 2013-2015 kann von jedermann per Internet genutzt werden (siehe <http://gis.uba.de/website/depo1/>) und stellt den besten wissenschaftlichen Kenntnisstand dar. Im Gegensatz zu den Depositionsmessdaten der Bundesländer berücksichtigt dieser UBA-Datensatz auch die trockene Deposition nicht-sedimentierender Stoffe. Der UBA-Datensatz enthält die Depositionsdaten für neun Rezeptortypen (Vegetationstypen), hat eine Auflösung von 1 x 1 km<sup>2</sup> und besitzt eine Darstellungsgenauigkeit von 1 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Der Datensatz basiert auf einer Interpolation der bundesweit vorliegenden Messergebnisse für die nasse Deposition und einer Modellierung von trockenen Stickstoff-Depositionsflüssen (siehe auch UBA 2019).

Immer wenn die Überschreitung des Critical Loads für versauernde Stoffeinträge zu überprüfen ist, ist auch die Hintergrundbelastung mit versauernden Stoffeinträgen zu berücksichtigen. Entsprechende Informationen für den Eintrag mit versauernden Schwefelverbindungen sind auch im PINETI-III-Vorhaben für das Jahr 2013-2015 erstellt worden. Die Daten können beim Umweltbundesamt bezogen werden, sind aber für die Beurteilungspunkte auch in Anlage 4.

Da sich die Deposition kleinräumig vor allem in Abhängigkeit von der Vegetationsbedeckung ändert, ist die Hintergrundbelastung für jedes FFH-Gebiet und die dort vorkommenden FFH-Lebensraumtypen anzugeben. Tab. 6-1 und Tab. 6-2 zeigen die entsprechenden Werte der Vorbelastung für Stickstoffeintrag und für Säureeintrag. Berücksichtigt ist einerseits die Hintergrundbelastung aufgrund großräumiger atmosphärischer Stofftransporte als auch die Vorbelastungen durch lokale Quellen. Dabei berücksichtigt sind der kapazitive Flughafenausbau auf der Grundlage der Planfeststellungsunterlagen, die Leunastraße anhand eigener konservativer Abschätzungen sowie die EBS-Verbrennungsanlage auf dem Industrieparkgelände Höchst anhand des FFH-Gutachtens von Bosch & Partner aus dem Jahr 2013. Angegeben ist jeweils der für die relevanten LRT-Flächen ungünstigste Wert.

**Tab. 6-1: Vorbelastung mit Stickstoffeinträgen in den FFH-Gebieten Schwanheimer Düne, Kelsterbacher Wald und Schwanheimer Wald**

	Hintergrund 2013-2015 (UBA)	Nahbereich Leunastraße (80m)	Flughafenausbau (Planfall 2020 - Ist 2005)	EBS-Anlage	Vorbelastung (Summe Spalten 2-5)
LRT	DepN [kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	DepN [kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	DepN [kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	DepN [kg/ha*a]	DepN [kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
1	2	3	4	5	6
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne</b>					
2330	10	1,0	-0,3	0,2	<b>10,9</b>
2330 (flechtenreich)*	10		-0,3	0,2	<b>9,9</b>
3140	10	1,0	-0,3	0,3	<b>11,0</b>
6510	10	1,0	-0,3	0,2	<b>10,9</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Kelsterbacher Wald</b>					
2310	11		0,9	0,2	<b>12,1</b>
2330	10		0,9	0,2	<b>11,1</b>
9110	15		0,9	0,2	<b>16,1</b>
9130	15		0,9	0,2	<b>16,1</b>
9190	15		0,9	0,2	<b>16,1</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Wald</b>					
*6212	11		0	0,1	<b>11,1</b>
6510	11		0	0,1	<b>11,1</b>
9110	15		0	0,1	<b>15,1</b>
9160	15		0	0,1	<b>15,1</b>
9190	15		0	0,1	<b>15,1</b>
*91E0	15		0	0,1	<b>15,1</b>

\*) Die flechtenreichen Bestände des Sandmagerrasens in der Schwanheimer Düne liegen im Bereich des BP 9 außerhalb des Wirkbereiches der Leunastraße

- Quellen: Zeile 2: UBA-Datensatz 2013-2015: <http://gis.uba.de/website/depo1/>; Schaab et al. 2018  
 Zeile 3: Belastung Leunastraße: Eigene Abschätzung gemäß Daten aus BMVBS 2013 (siehe Kapitel 6.3)  
 Zeile 4: Belastung Flughafenausbau: Eigene Abschätzung nach Immissionsdaten des Gutachtens G13.4 der Planfeststellungsunterlage zum kapazitiven Flughafenausbau (siehe Kapitel 6.2)  
 Zeile 5: Belastung EBS-Anlage: Bosch & Partner GmbH 2013.

**Tab. 6-2: Vorbelastung mit Säureeinträgen in den FFH-Gebieten Schwanheimer Düne, Kelsterbacher Wald und Schwanheimer Wald**

	Hintergrund 2013-2015 (UBA)	Nahbereich Leunastraße (80m)	Flughafenausbau (Planfall 2020 - Ist 2005)	EBS-Anlage	Gesamtbelastung (Summe Spalten 2-5)
LRT	DepN+S [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]				
1	2	3	4	5	6
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne</b>					
2330	795	71	-267	33	<b>632</b>
2330 (flechtenreich)*	860		-267	33	<b>626</b>
6510	881	71	-267	27	<b>712</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Kelsterbacher Wald</b>					
2310	961		-86	33	<b>908</b>
2330	860		-86	33	<b>807</b>
9110	1248		-86	33	<b>1195</b>
9130	1248		-86	33	<b>1195</b>
9190	1248		-86	33	<b>1195</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Wald</b>					
*6212	911		-246	13	<b>678</b>
6510	911		-246	13	<b>678</b>
9110	1266		-246	20	<b>1040</b>
9160	1266		-246	20	<b>1040</b>
9190	1279		-246	20	<b>1053</b>
*91E0	1256		-246	20	<b>1030</b>

\*) Die flechtenreichen Bestände des Sandmagerrasens in der Schwanheimer Düne liegen im Bereich des BP 9 außerhalb des Wirkbereiches der Leunastraße

- Quellen: Zeile 2: UBA-Datensatz 2013-2015: Anlage 4 (IBE/Öko-Data 2019)  
 Zeile 3: Belastung Leunastraße: Eigene Abschätzung gemäß Daten aus BMVBS 2013 (siehe Kapitel 6.3)  
 Zeile 4: Belastung Flughafenausbau: Eigene Abschätzung nach Immissionsdaten des Gutachtens G13.4 der Planfeststellungsunterlage zum kapazitiven Flughafenausbau (siehe Kapitel 6.2)  
 Zeile 5: Belastung EBS-Anlage: Bosch & Partner GmbH 2013.

## 6.2 Lokale Belastung durch den kapazitiven Flughafenausbau

Die neue Landebahn Nordwest im Kelsterbacher Wald wurde im Jahr 2007 planfestgestellt und im Jahr 2011 in Betrieb genommen. Im Planfeststellungsverfahren zum Flughafenausbau wurden keine Depositionsberechnungen vorgelegt. Das Gesamtschadstoffgutachten G13.4 der Planfeststellungsunterlagen (IVU 2006) weist aber die durch den Flughafenausbau prognostizierten Veränderungen der NO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>-Belastung in der Umgebung des Flughafens aus, aus denen man die Deposition von Stickstoff bzw. Säureäquivalenten zumindest überschlägig abschätzen kann (siehe Abb. 6-1, Abb. 6-2 sowie und Tab. 6-3).

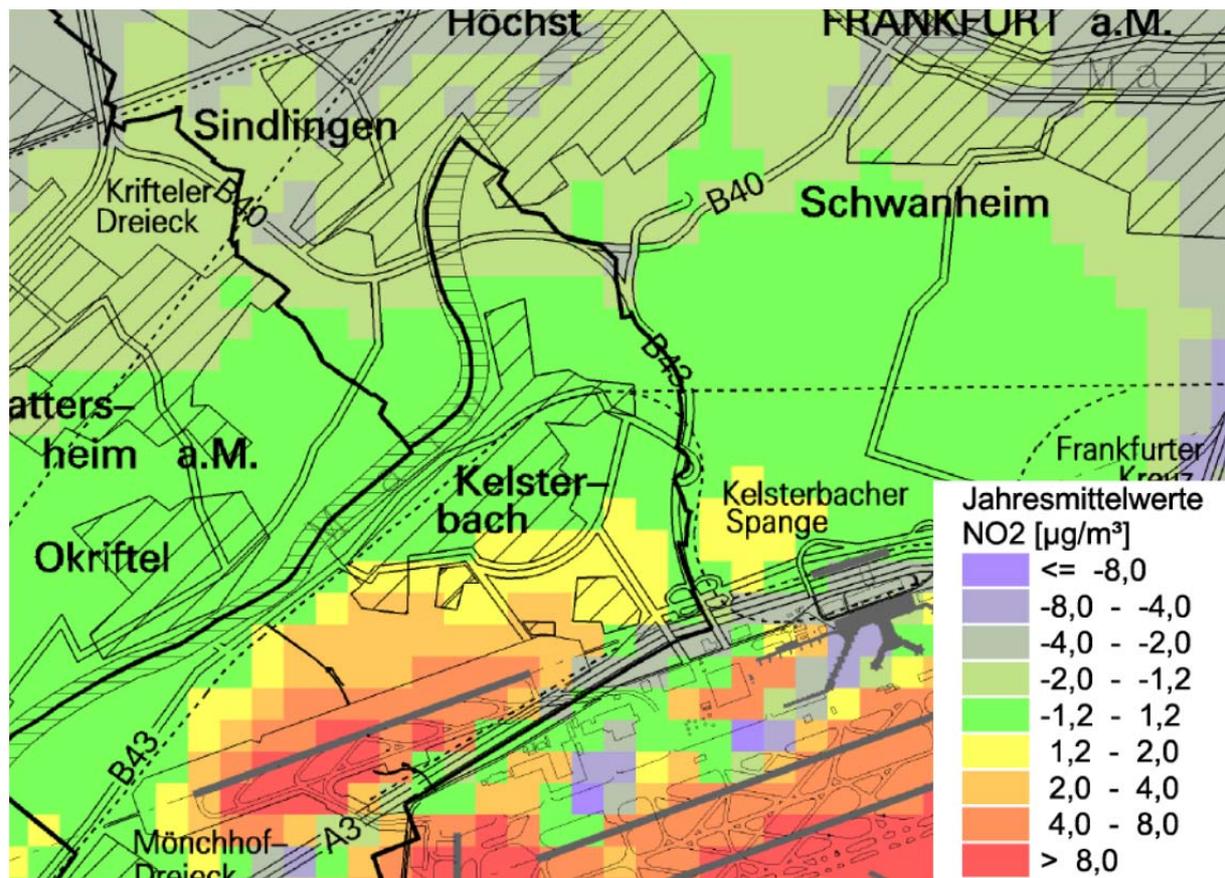


Abb. 6-1: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Immissionen im nördlichen Flughafenumfeld als Differenz zwischen der Ist-Situation 2005 und dem Planfall 2020 (Quelle: IVU 2006, Abb. 5-85)

Das genannte Gutachten G13.4 beinhaltet Berechnungen für die Ist-Situation, den Prognosefall 2020 ohne Flughafenausbau und den Planfall 2020 mit Flughafenausbau. Um die Depositionsbelastung in den relevanten FFH-Gebieten als Summe aus den Hintergrundbelastungsdaten des UBA-Datensatzes 2009 und zusätzlicher lokaler Einflüsse abbilden zu können, kann die Differenz der NO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung zwischen der Ist-Situation 2005 und dem Planfall 2020 zugrunde gelegt werden. Damit wird der Flughafenausbau, aber auch die Entwicklung der NO<sub>2</sub>- bzw. SO<sub>2</sub>-Immissionen im Umfeld des Flughafens Frankfurt, z.B. im Sektor Straßenverkehr einbezogen. Diese Entwicklungstrends sind im UBA-Datensatz 2013-2015 noch nicht vollständig berücksichtigt.

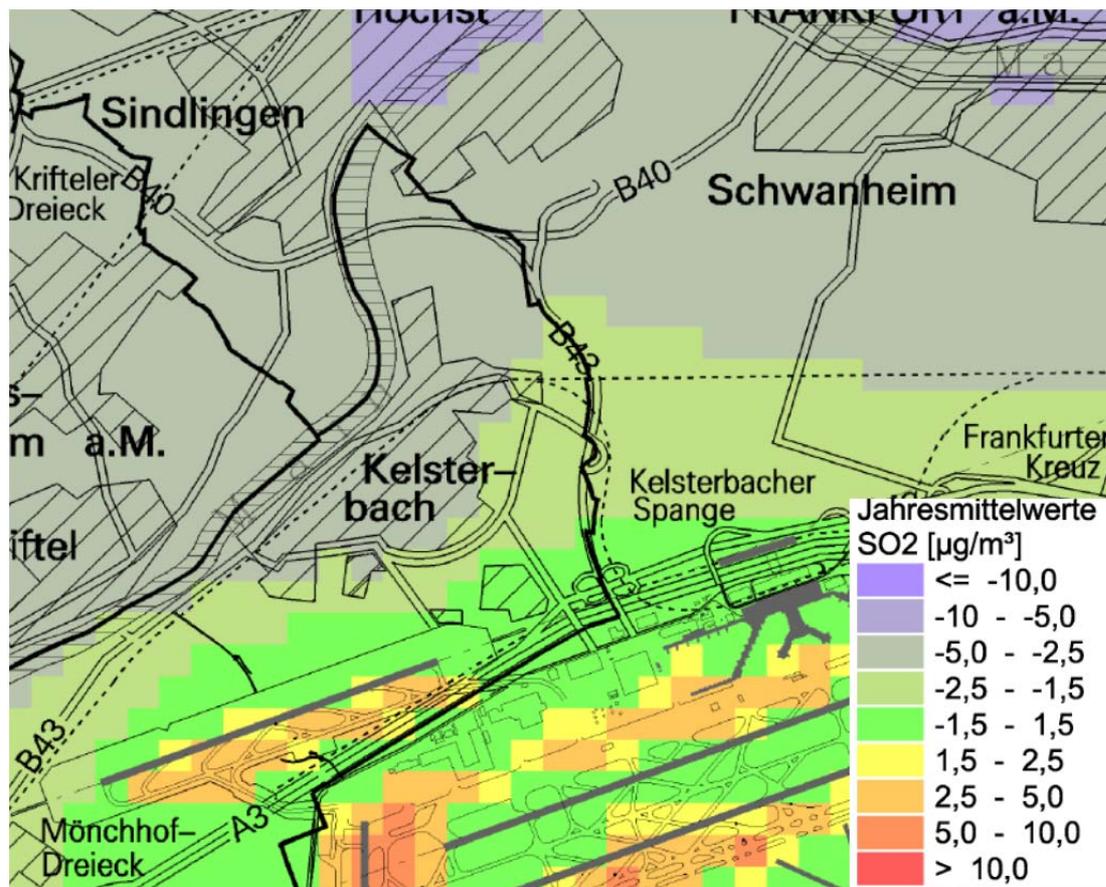


Abb. 6-2: Entwicklung der SO<sub>2</sub>-Immissionen im nördlichen Flughafenumfeld als Differenz zwischen der Ist-Situation 2005 und dem Planfall 2020 (Quelle: IVU 2006, Abb. 5-85)

Aus den Luftkonzentrationen für NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> wurde eine trockene Deposition von Stickstoff und Schwefel durch Multiplikation mit einer stoff- und rezeptorspezifischen Depositionsgeschwindigkeit überschlägig berechnen. Die entsprechenden Depositionsgeschwindigkeiten wurden der VDI-Richtlinie 3782 Blatt 5 „Depositionsparameter“ (April 2006) entnommen. Für NO<sub>2</sub> wurde 0,3 cm/s angesetzt, für SO<sub>2</sub> der mesoskalige Wert von 1,0 cm/s. Diese überschlägige Betrachtung ist konservativ, da in die Ausbreitungsrechnung keine Abreicherung der Immissionskonzentrationen durch Deposition auf der Ausbreitungsstrecke berücksichtigt ist (siehe dazu Straub et al. 2013).

Im Ergebnis ergeben sich die in Tab. 6-3 dargestellten Depositionsentwicklungen. Während im Bereich der Schwanheimer Düne und des nördlichen Schwanheimer Waldes zwischen 2005 und 2020 eine stagnierender bis abnehmende Tendenz der Stickstoff- und Säuredepositionen aus gasförmigen NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub>-Immissionen prognostiziert wird, ist für nördlichen Kelsterbacher Wald aufgrund der Nähe zur neuen Landebahn Nordwest zumindest für Stickstoffdepositionen mit einer leichten Zunahme von bis zu 0,9 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> zu rechnen. Für die Schwefeleinträge gilt trotz der Nähe zur Landebahn Nordwest auch im nördlichen Kelsterbacher Wald bereits ein leicht abnehmender Trend.

**Tab. 6-3: Entwicklung der Vorbelastung unter Berücksichtigung der Daten zum kapazitiven Flughafenausbau Frankfurt Main**

FFH-Gebiet	Immissionsentwicklung 2005 bis 2020 gemäß G13.4*		Abschätzung der Depositionsentwicklung 2005 bis 2020	
	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	SO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	DepN [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Dep N+S [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
<b>Schwanheimer Düne</b>	Abnahme -1,0 – -2,0	Abnahme -2,5 - -5,0	Abnahme -0,3 – -0,6	Abnahme -267 - -534
<b>Kelsterbacher Wald</b> (nördlicher Bereich)	Zunahme +2,0 - +3,0	Abnahme -1,5 - -2,5	Zunahme 0,6 – 0,9	Abnahme -86 - -205
<b>Schwanheimer Wald</b> (nördlicher Bereich)	Abnahme 0 – -1,0	Abnahme -2,5 - -5,0	Abnahme 0 – -0,3	Abnahme -246 - -513

\*) G13.4 = Gesamtschadstoffgutachten aus den Planfeststellungsunterlagen der Fraport AG für den kapazitiven Flughafenausbau (IVU 2006). Die Werte für NO<sub>2</sub> sind dem Anhang des Gesamtschadstoffgutachtens G13.4 entnommen, in dem je Rasterzelle die prognostizierten Konzentrationswerte als Zahlenwert angegeben sind und nicht nur als Klasse wie oben in Abb. 6-1.

### 6.3 Lokale Belastung durch die Leunastraße

Die Leunastraße verläuft unmittelbar am Westrand des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne in Nord-Südrichtung. Sie wurde per B-Plan der Stadt Frankfurt mit Stand 15.02.1999 genehmigt und am 11.10.2007 feierlich eröffnet (Mitteilg. Herr Schnerch, Straßenbauamt Stadt Frankfurt). Verkehrszählungen aus den Jahren 2008 bis 2012 weisen für den Bereich Leunabrücke über den Main (nördlich des FFH-Gebietes) Verkehrsbelastungen von 9.000 bis 11.500 Kfz/24h aus. Der Schwerverkehrsanteil (Lkw >3,5 t) liegt dort bei 2-3 %. Im Bereich zwischen Kelsterbacher Weg und B 40, d.h. am Südenende des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne sind im August 2008 nur 3.600 Kfz/24h und ein Schwerverkehrsanteil von 1 % gezählt worden (Mitteilg. vom 22.03.2013 von Herr Preisung, Straßenverkehrsbehörde der Stadt Frankfurt). Sowohl hinsichtlich Verkehrsstärke, hinsichtlich LKW-Anteil als auch hinsichtlich des Tempolimits von 50 km/h handelt es sich bei der Leunastraße um eine schwache Quelle für Stickstoffeinträge. Im Genehmigungsverfahren zur Leuna-Straße wurde keine Stickstoffdepositionsrechnung durchgeführt. Daher kann der von dieser Straße ausgehende Stickstoffeintrag in das benachbarte FFH-Gebiet nur abgeschätzt werden.

In BMVBS 2013 wurden beispielhafte Ausbreitungs- und Depositionsberechnungen für Straßen mit unterschiedlichen Emissionscharakteristika für das Bezugsjahr 2020 mit dem hochwertigen Ausbreitungsmodell LASAT durchgeführt. Für Fernverkehrsstraßen mit Tempo 100, 10.000 Fahrzeugen pro Tag und einem Schwerverkehrsanteil von 10 % ergeben sich danach Stickstoffeinträge in Größenordnungen von 1 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> in etwa 80 m Entfernung vom Straßenrand und von 0,3 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> in etwa 210 m Entfernung vom Straßenrand. Diese lokalen Belastungen im Nahbereich der Leunastraße können für die Abschätzung der Hintergrund- bzw. der Gesamtbelastung an Stickstoff- bzw. Säureeinträgen am Westrand des

---

FFH-Gebietes Schwanheimer Düne berücksichtigt werden, da davon auszugehen ist, dass diese Belastungen im UBA-Datensatz nicht enthalten sind. Die angegebenen Werte stellen allerdings eine konservative Schätzung dar, da die Leunastraße gegenüber den im Vergleichsfall angesetzten Emissionsparametern real eine geringere Verkehrsmenge, einen geringeren LKW-Anteil und Tempo-Begrenzung auf 50 km/h aufweist.

## **7 Zusatzbelastung und resultierende Gesamtbelastung mit Stickstoff- und Säureeinträgen**

Neben der Hintergrundbelastung ist die Größenordnung der Zusatzbelastung durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau maßgeblich für die Frage, ob erhebliche Beeinträchtigungen durch Stickstoff- oder Säureeinträge in die betrachteten FFH-Gebiete ausgeschlossen werden können. Aus der Summe von Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung ergibt sich die resultierende Gesamtbelastung für die verschiedenen zu betrachtenden FFH-Lebensraumtypen.

### **7.1 Zusatzbelastung durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau**

Wie bereits dargestellt, werden Stickstoffeinträge vor allem durch emittierte Stickoxide und durch Ammoniak bewirkt. Dies gilt auch für das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau im Industriepark Höchst. Säureeinträge resultieren mittelbar aus den Stickstoffdepositionen sowie zusätzlich aus der Deposition des emittierten Schwefeldioxids.

Für den Änderungsgenehmigungsantrag wurde vom Ingenieurbüro Lohmeyer im Jahr 2019 eine aktuelle Ausbreitungsrechnung und Modellierung für die nasse und trockene Deposition von Stickstoff und Schwefel und daraus resultierend Gesamt-Säure vorgenommen. Die Dokumentation dieser Depositionsmodellierung ist in Anlage 3 enthalten. Sie wurde mit dem Lagrangeschen Ausbreitungsmodell LASAT durchgeführt. Dabei wurden die Emissionen von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{SO}_2$  berücksichtigt. Als Depositionsgeschwindigkeiten wurden die Vorgaben der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 5 (2006) für Wald bzw. die Vorgaben der TA Luft, die eher für Offenland-Vegetation repräsentativ sind, zugrunde gelegt. Je nach Akzeptor (Wald- bzw. Offenlandlebensräume) sind die entsprechenden Ergebnisse heranzuziehen. Dabei wurden für die Reduktion der Immissionen infolge von Depositionsprozessen auf der Ausbreitungsstrecke grundsätzlich flächendeckend die TA-Luft-Depositionsgeschwindigkeiten zugrunde gelegt, um konservative Ergebnisse zu erhalten.

Eine flächenhafte kartographische Darstellung der Zusatzbelastung ist in den Kartenanlagen 1 und 2 enthalten. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Modellierung für die in den drei betrachteten FFH-Gebieten liegenden FFH-Lebensraumtypen. Die dargestellten Daten beziehen sich jeweils auf den in den einzelnen FFH-Gebieten und FFH-Lebensraumtypen liegenden empfindlichsten Standort-Vegetationstyp mit der höchsten Zusatzbelastung.

**Tab. 7-1: Stickstoff- und Säuredeposition – Zusatzbelastung durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau E536 im Bereich der umliegenden FFH-Gebiete** (Datengrundlage: Ingenieurbüro Lohmeyer 2019 – Anlage 3)

Zusatzbelastung Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau E 536		
LRT	N-Deposition [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	S+N-Deposition [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
1	2	3
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne</b>		
2330	<b>0,2</b>	<b>18</b>
2330 (flechtenreich)	<b>0,2</b>	<b>15</b>
3140 (Gewässer)	<b>0,2</b>	<b>19</b>
6510	<b>0,2</b>	<b>18</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Kelsterbacher Wald</b>		
2310	<b>0,1</b>	<b>8</b>
2330	<b>0,1</b>	<b>9</b>
9110	<b>0,2</b>	<b>14</b>
9130	<b>0,2</b>	<b>16</b>
9190	<b>0,1</b>	<b>13</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Wald</b>		
*6212	<b>0,1</b>	<b>12</b>
6510	<b>0,1</b>	<b>16</b>
9110	<b>0,2</b>	<b>19</b>
9160	<b>0,3</b>	<b>26</b>
9190	<b>0,3</b>	<b>23</b>
*91E0	<b>0,2</b>	<b>23</b>

Im Ergebnis zeigt sich, dass die zu erwartenden Zusatzbelastungen im Bereich des Schwanheimer Waldes am höchsten sind. Die geringsten Zusatzbelastungen liegen im Kelsterbacher Wald. Die Werte der Zusatzbelastung sind aber durchweg sehr gering und liegen für Stickstoffeintrag bei **0,1 bis 0,3 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>**, für Säureeintrag bei **8 bis 26 eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>**.

## 7.2 Gesamtbelastung der FFH-Gebiete

Die Gesamtbelastung ergibt sich aus der Summe der Vorbelastung gemäß Kapitel 6 und der Zusatzbelastung durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau gemäß Kapitel 7.1. Die nachfolgend in Tab. 7-2 und Tab. 7-3 dargestellte Gesamtbelastung berücksichtigt entsprechend die Hintergrundbelastung gemäß UBA-Datensatz, die Belastung der Leuna-Straße am Westrand der Schwanheimer Düne, die Belastung des kapazitiven Flughafenausbaus Frankfurt Main, die Belastung durch die EBS-Verbrennungsanlage sowie die Zusatzbelastung des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau. Die Tabellen enthalten für jeden vorkommenden

FFH-Lebensraumtyp in dem jeweiligen FFH-Gebiet den jeweils ungünstigsten Wert mit der höchsten Belastung.

**Tab. 7-2: Gesamtbelastung mit Stickstoffeintrag in den FFH-Gebieten Schwanheimer Düne, Kelsterbacher Wald und Schwanheimer Wald**

	Vorbelastung	Zusatzbelastung Gasturbine E 536	Gesamtbelastung (Summe Spalten 2+3)
LRT	DepN [kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	DepN [kg/ha*a]	DepN [kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
1	2	3	4
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne</b>			
2330	10,9	0,2	<b>11,1</b>
2330 (flechtenreich)	9,9	0,2	<b>10,1</b>
3140	11	0,2	<b>11,2</b>
6510	10,9	0,2	<b>11,1</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Kelsterbacher Wald</b>			
2310	12,1	0,1	<b>12,2</b>
2330	11,1	0,1	<b>11,2</b>
9110	16,1	0,2	<b>16,3</b>
9130	16,1	0,2	<b>16,3</b>
9190	16,1	0,1	<b>16,2</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Wald</b>			
*6212	11,1	0,1	<b>11,2</b>
6510	11,1	0,1	<b>11,2</b>
9110	15,1	0,2	<b>15,3</b>
9160	15,1	0,3	<b>15,4</b>
9190	15,1	0,3	<b>15,4</b>
*91E0	15,1	0,2	<b>15,3</b>

Quellen: Zeile 2: Tab. 6-1 in Kapitel 6.1  
Zeile 3: Tab. 7-1 in Kapitel 7.1.

Die Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf die Frage, inwieweit Critical Loads überschritten sind, erfolgt im nachfolgenden Kapitel.

**Tab. 7-3: Gesamtbelastung mit Säureeintrag in den FFH-Gebieten Schwanheimer Düne, Kelsterbacher Wald und Schwanheimer Wald**

	Vorbelastung	Zusatzbelastung Gasturbine E 536	Gesamtbelastung (Summe Spalten 2+3)
LRT	DepN+S [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	DepN+S [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	DepN+S [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
1	2	3	4
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne</b>			
2330	632	18	<b>650</b>
2330 (flechtenreich)	626	15	<b>641</b>
6510	712	18	<b>730</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Kelsterbacher Wald</b>			
2310	908	8	<b>916</b>
2330	807	9	<b>816</b>
9110	1195	14	<b>1209</b>
9130	1195	16	<b>1211</b>
9190	1195	13	<b>1208</b>
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Wald</b>			
*6212	678	12	<b>690</b>
6510	678	16	<b>694</b>
9110	1040	19	<b>1059</b>
9160	1040	26	<b>1066</b>
9190	1053	23	<b>1076</b>
*91E0	1030	23	<b>1053</b>

Quellen: Zeile 2: Tab. 6-2 in Kapitel 6.1  
Zeile 3: Tab. 7-1 in Kapitel 7.1.

## 8 Fachliche Beurteilung

Die ermittelten Stickstoff- und Säureeinträge, die aus dem um den Gasturbinenneubau E 536 erweiterten Heizkraftwerk im Industriepark Höchst resultieren, sind sehr gering. Konkrete Schadwirkungen für die Lebensraumtypen in den betrachteten FFH-Gebieten können daraus nicht abgeleitet werden. Selbst bei jahrelanger Überschreitung von Critical Loads sind Veränderungen in den Lebensraumtypen mit den herkömmlichen Methoden der Boden- und Vegetationskunde häufig nicht nachweisbar. Für geringfügige zusätzliche Einträge, die im Prozentbereich der vorsorglich angenommenen Critical Loads liegen, können daher erst recht keine konkreten Veränderungen oder Schäden prognostiziert werden. Die natürliche Variabilität des Stickstoffangebotes in Vegetationsbeständen – z.B. verursacht durch ungleichmäßig in der Fläche äsende Tiere (Wildschweine im Wald, Schafe in beweideten Trockenrasen) oder unterschiedliche Bewuchsdichten, die entsprechend unterschiedliche Depositionsraten, Streumengen und biologische Aktivitäten im Boden infolge Beschattung / Besonnung zur Folge haben – ist deutlich größer als der Beitrag einzelner Vorhaben zum Stickstoffangebot auf Flächen, die mehrere 100 m oder km vom Emissionsort entfernt liegen. Der natürliche Bodenvorrat an Stickstoff beispielsweise beträgt in aller Regel mehrere  $1.000 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Aus zusätzlichen Stickstoffeinträgen im Prozentbereich von Critical Loads, d. h. in Größenordnungen deutlich unter  $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , lässt sich allenfalls ein theoretischer Beitrag zu einem durch die Critical Loads beschriebenen Risiko zu Veränderungen in der Vegetation eines Standortes ableiten. Der Vorteil der Critical Loads liegt aber darin, dass die Empfindlichkeit eines Standortes gegenüber Stoffeinträgen quantifizierbar wird. Die Critical Loads definieren eine Belastbarkeitsgrenze dahingehend, dass deren Einhaltung mit Sicherheit keine Beeinträchtigungen hervorruft. Die Critical Loads treffen allerdings keine darüber hinausgehende Aussage, etwa dahingehend, was genau bei ihrer Überschreitung im betroffenen Lebensraum passiert.

Anhand des Maßstabs der Critical Loads ist auch eine Beurteilung möglich, ob erhebliche Beeinträchtigungen durch vorhabensbedingten Stickstoffeintrag oder Säureeintrag für einzelne betroffene FFH-Lebensraumtypflächen ausgeschlossen werden können (siehe Kap. 3.2). Gemäß den in Kapitel 3.3 dargestellten Prüfmaßstäben können erhebliche Beeinträchtigungen immer dann ausgeschlossen werden, wenn

- 1) die Gesamtbelastung den Critical Load nicht überschreitet oder
- 2) die vorhabensbedingte Zusatzbelastung ein unteres Abschneidekriterium von  $0,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bzw.  $24 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  nicht überschreitet oder
- 3) die kumulierte Zusatzbelastung die Bagatellschwelle von 3 % des Critical Loads nicht überschreitet.

Die nachfolgende Beurteilung erfolgt in der dargestellten Reihenfolge der Prüfschritte (siehe Abb. 3-1). Sobald eine der drei Prüffragen bejaht werden kann, kann die Prüfung positiv abgeschlossen werden. Eine ausführliche Herleitung der herangezogenen Prüfschwellen, d.h. des Abschneidekriteriums und der Bagatellschwelle findet sich in Kapitel 3.3.

Im Folgenden wird zunächst eine Beurteilung auf der Basis der empirischen Critical Loads vorgenommen. Anschließend erfolgt eine Überprüfung dieses Ergebnisses anhand der standort- und vegetationstypspezifisch konkretisierten Critical Loads, für die in Anlage 4 in eine CL-Modellierung durchgeführte wurde (siehe Kapitel 5.2.2).

## **8.1 Beurteilung auf der Basis empirischer Critical Loads**

Die empirischen Critical Loads nach Bobbink und Hettelingh 2011 (siehe dazu Kapitel 5.1) beziehen sich ausschließlich auf Stickstoffeintrag. Daher erfolgt die Beurteilung hier allein auf der Basis der Daten zum Stickstoffeintrag. Neben den eutrophierenden Effekten sind bei den empirischen Critical Loads für Stickstoffeintrag allerdings auch die damit verbundenen Säurewirkungen mit berücksichtigt.

Die nachfolgende Tab. 8-1 zeigt die für die Beurteilung notwendigen Zahlenwerte über alle betrachteten FFH-Gebiete und übernimmt dazu die Daten, die bereits in Kapitel 6 für die Hintergrundbelastung und in Kapitel 7 für die Zusatzbelastung des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau dargestellt wurden. Die in der Tabelle je FFH-Gebiet und FFH-Lebensraumtyp dargestellten Ergebnisse beziehen sich jeweils auf die für die Beurteilung ungünstigste Konstellation, d.h. die höchste auf einer Teilfläche des jeweiligen FFH-Lebensraumtyps zu erwartende Gesamtbelastung und die höchste auf einer Teilfläche des jeweiligen FFH-Lebensraumtyps zu erwartende Zusatzbelastung mit Stickstoffeinträgen (siehe dazu auch die Kartenanlage 1). Anhand der dargestellten Daten ist somit eine Beurteilung, die auf der sicheren Seite liegt, möglich.

Für die Beurteilung wurde hier der Critical Load nicht gebiets- und standorttypisch näher bestimmt. Stattdessen wird im Sinne einer vorsorglichen Betrachtung jeweils die untere Schwelle der empirischen Critical-Load-Spanne verwendet, die grundsätzlich dem jeweiligen FFH-Lebensraumtyp gemäß Kapitel 5.1 zugeordnet werden kann. Für das in der Schwanheimer Düne gelegene und als LRT 3140 ausgewiesene Stillgewässer mit Armelecheralgen-Vegetation, die sog. Schmidt'sche Grube, wird ausnahmsweise der mittlere Wert der Critical-Load-Spanne von  $10 - 20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , d.h.  $15 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  für die Beurteilung zugrunde gelegt (siehe zur Herleitung Kapitel 5.3).

**Tab. 8-1: Gegenüberstellung der maximalen Gesamt- und Zusatzbelastung an Stickstoffeintrag mit den empirischen Critical Loads**

LRT	Clemp(N) unterer Wert [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Gesamtbelastung* [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Überschreitung CL durch Gesamtbelastung [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Zusatzbelastung Gasturbine E 536 [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Überschreitung Abschneidekriterium
1	2	3	4	5	6
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne</b>					
2330	8	11,1	3,1	0,2	nein
3140 (Gewässer)	15	11,2	-3,8	0,2	nein
6510	20	11,1	-8,9	0,2	nein
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Kelsterbacher Wald</b>					
2310	10	12,2	2,2	0,1	nein
2330	8	11,2	3,2	0,1	nein
9110	10	16,3	6,3	0,2	nein
9130	10	16,3	6,3	0,2	nein
9190	10	16,2	6,2	0,1	nein
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Wald</b>					
*6212	10	11,2	1,2	0,1	nein
6510	20	11,2	-8,8	0,1	nein
9110	10	15,3	5,3	0,2	nein
9160	15	15,4	0,4	0,3	nein
9190	10	15,4	5,4	0,3	nein
*91E0	10	15,3	5,3	0,2	nein

\*) Die dargestellte Gesamtbelastung berücksichtigt die Hintergrundbelastung gemäß UBA-Datensatz, den Flughafen ausbau Frankfurt Main, die Leuna-Straße und die EBS-Verbrennungsanlage sowie die Zusatzbelastung des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau (siehe Kapitel 6 und Kapitel 7).

Im Ergebnis zeigt sich, dass die untersten Werte der empirischen Critical Loads in den meisten der betrachteten FFH-Lebensraumtypen in der Gesamtbelastung – teilweise deutlich – überschritten werden. Die Überschreitungen der jeweils untersten Werte der empirischen Critical Loads liegen in einer Größenordnung von etwa 0,4 – 6,3 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Nicht überschritten werden die Critical Loads in der Gesamtbelastung bei den Mageren Flachlandmähwiesen (LRT 6510) in der Schwanheimer Düne und im Schwanheimer Wald und dem oligo- bis mesotrophen Stillgewässer mit Armleuchteralgen in der Schwanheimer Düne. Die Gesamtbelastung liegt in diesen Fällen etwa 4 - 9 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> unterhalb der angesetzten empirischen Critical Loads.

Zum Vergleich: Setzte man die jeweils obersten Werte der angegebenen Spanne der empirischen Critical Loads von Bobbink und Hettelingh 2011 an, ergäbe sich praktisch keine Überschreitung der Critical Loads.

In allen Fällen, d.h. bei jedem FFH-Lebensraumtyp in allen betrachteten FFH-Gebieten liegt die Zusatzbelastung des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau allerdings in einer vernachlässigbaren und damit irrelevanten Größenordnung. Das untere Abschneidekriterium von 0,3 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und die 3%-Bagatellschwelle werden in keinem Fall überschritten. Werte von bis zu 0,3 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> werden nur am nördlichen Rand des Schwanheimer Waldes erreicht. Ansonsten liegt die Zusatzbelastung im Schwanheimer Wald, in der Schwanheimer Düne und im Kelsterbacher Wald durchweg bei maximal 0,1 - 0,2 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

Da in allen Fällen das Abschneidekriterium eingehalten ist, ist nach fachlichen Maßstäben keine weitere Kumulationsbetrachtung zur Überprüfung der 3%-Bagatellschwelle notwendig.

Insgesamt kann sicher ausgeschlossen werden, dass in den FFH-Gebieten Schwanheimer Düne, Kelsterbacher Wald und Schwanheimer Wald erhebliche Beeinträchtigungen durch Stickstoffeinträge des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau auftreten. Der Erhaltungszustand der vorliegenden FFH-Lebensraumtypen wird durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau sicher nicht verschlechtert.

## **8.2 Beurteilung auf der Basis konkretisierter Critical Loads**

Ergänzend zu den empirischen Critical Loads wurden – um ein möglichst genaues Bild der Empfindlichkeit gegenüber atmosphärischen Stickstoff- und Säureeinträgen zu erhalten – für die potenziell betroffenen FFH-Lebensraumtypen in den FFH-Gebieten Schwanheimer Düne, Kelsterbacher Wald und Schwanheimer Wald Critical Loads standort- und vegetationsstypspezifisch modelliert (siehe Kapitel 5.2).

Die durch Modellierung ermittelten konkretisierten Critical Loads ermöglichen eine differenzierte Betrachtung der Stickstoffeinträge und der Säureeinträge, da die Modellierung von Critical Loads grundsätzlich separat für die Eutrophierung und für die Versauerung durchgeführt wird, somit also für jeden Standort zwei Critical Loads bestimmt wurden.

Die Beurteilung erfolgt wie in Kapitel 8.1 auch hier schrittweise, d.h. es wird zunächst geprüft, inwieweit der maßgebliche Critical Load durch die Gesamtbelastung überschritten ist. Ist dies der Fall, wird in einem zweiten Schritt geprüft, ob die vom Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau ausgehende Zusatzbelastung mehr als geringfügig ist, d.h. das Abschneidekriterium bzw. die Bagatellschwelle überschreitet.

Die Tab. 8-2 und Tab. 8-3 zeigen die für die Beurteilung notwendigen Zahlenwerte über alle betrachteten FFH-Gebiete und übernehmen dazu die Daten, die bereits in Kapitel 6 für die Vorbelastung und in Kapitel 7 für die Zusatzbelastung des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau dargestellt wurden. Die Tabelle enthält für jeden vorkommenden FFH-Lebensraumtyp in dem jeweiligen FFH-Gebiet einen Wert. Dieser Wert entspricht analog zu Tab. 8-1 jeweils der für eine Beurteilung ungünstigsten Konstellation, d.h. es handelt sich um Angaben zur höchsten auf einer Teilfläche des jeweiligen FFH-Lebensraumtyps zu erwartenden Gesamtbelastung und zur höchsten auf einer Teilfläche des jeweiligen FFH-Lebensraumtyps zu erwartenden Zusatzbelastung mit Stickstoff- bzw. Säureeinträgen (siehe dazu auch die Kartenanlagen 1 und 2). Bei den Critical Loads wird jeweils der über alle Beurteilungspunkte eines FFH-Lebensraumtyps und FFH-Gebietes niedrigste Critical-Load-Wert angegeben. Es wird somit die jeweils empfindlichste vorkommende Standort-Vegetationstyp-Ausprägung eines FFH-Lebensraumtyps je FFH-Gebiet im Wirkraum des Vorhabens abgebildet. Anhand der in Tab. 8-2 und Tab. 8-3 dargestellten Daten wird damit eine Beurteilung, die auf der sicheren Seite liegt, durchgeführt.

**Tab. 8-2: Gegenüberstellung der maximalen Gesamt- und Zusatzbelastung an Stickstoffeintrag mit den konkretisierten Critical Loads**

LRT	ClnutN modelliert niedrigster Wert [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Gesamtbelastung* [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Überschreitung CL durch Gesamtbelastung [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Zusatzbelastung Gasturbine E 536 [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Überschreitung Abschneidekriterium
1	2	3	4	5	6
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne</b>					
2330	16	11,1	-4,9	0,2	nein
2330 (flechtenreich)	16	11,2	-4,8	0,2	nein
6510	24	11,1	-12,9	0,2	nein
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Kelsterbacher Wald</b>					
2310	18	12,2	-5,8	0,1	nein
2330	16	11,2	-4,8	0,1	nein
9110	17	16,3	-0,7	0,2	nein
9130	16	16,3	0,3	0,2	nein
9190	18	16,2	-1,8	0,1	nein
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Wald</b>					
*6212	17	11,2	-5,8	0,1	nein
6510	27	11,2	-15,8	0,1	nein
9110	13	15,3	2,3	0,2	nein
9160	9	15,4	6,4	0,3	nein
9190	11	15,4	4,4	0,3	nein
*91E0	14	15,3	1,3	0,2	nein

\*) Die dargestellte Gesamtbelastung berücksichtigt die Hintergrundbelastung gemäß UBA-Datensatz, den Flughafen- ausbau Frankfurt Main, die Leuna-Straße, die EBS-Verbrennungsanlage sowie die Zusatzbelastung des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau E 536 (siehe Kapitel 6 und Kapitel 7).

Für die Bestände des LRT 2330 (Offene Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis* auf Binnendünen) in der Schwanheimer Düne werden in den Tabellen zwei Werte angegeben. Unterschieden werden die flechtenreichen Bestände im zentralen Bereich des FFH- Gebietes, die durch die Modellierung von Critical Loads am Beurteilungspunkt 9 repräsentiert sind, und die sonstigen Bestände des LRT 2330, die durch eine Modellierung von Critical Loads an den Beurteilungspunkten 4-7 repräsentiert werden.

Für die Schmid'sche Grube, d.h. den Bestand des als LRT 3140 ausgewiesenen Stillgewäs- sers mit Armelechteralgen-Vegetation im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne wurde keine Cri- tical-Load-Modellierung durchgeführt, da Gewässer nicht in der gleichen Art modelliert wer- den können. Insofern erfolgt hier keine weitergehende Beurteilung für diesen Lebensraumtyp (siehe dazu bereits Kapitel 5.3 und Kapitel 8.1).

**Tab. 8-3: Gegenüberstellung der maximalen Gesamt- und Zusatzbelastung an Säureeintrag mit den konkretisierten Critical Loads**

LRT	CL(S+N) modelliert niedrigster Wert [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Gesamtbelastung* [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Überschreitung CL durch Gesamtbelastung [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Zusatzbelastung Gasturbine E 536 [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	Überschreitung Abschneidekriterium
1	2	3	4	5	6
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Düne</b>					
2330	2438	650	-1788	18	nein
2330 (flechtenreich)	1836	641	-1195	15	nein
6510	1522	730	-792	18	nein
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Kelsterbacher Wald</b>					
2310	2233	916	-1317	8	nein
2330	2740	816	-1924	9	nein
9110	2808	1209	-1599	14	nein
9130	2223	1211	-1012	16	nein
9190	2800	1208	-1592	13	nein
<b>im Bereich des FFH-Gebietes Schwanheimer Wald</b>					
*6212	2184	694	-1490	12	nein
6510	2052	694	-1358	16	nein
9110	2022	1059	-963	19	nein
9160	2372	1066	-1306	26	ja
9190	2503	1076	-1427	23	nein
*91E0	4477	1053	-3424	23	nein

\*) Die dargestellte Gesamtbelastung berücksichtigt die Hintergrundbelastung gemäß UBA-Datensatz, den Flughafen- ausbau Frankfurt Main, die Leuna-Straße, die EBS-Verbrennungsanlage sowie die Zusatzbelastung des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau E 536 (siehe Kapitel 6 und Kapitel 7).

Im Folgenden werden die Beurteilungsergebnisse für die drei FFH-Gebiete separat dargestellt.

### FFH-Gebiet Schwanheimer Düne

Im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne sind Bestände des LRT 2330 (Offene Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis* auf Binnendünen) und des LRT 6510 (Magere Flachland- mähwiesen) geschützt. Darüber hinaus ist der Gewässer-LRT 3140 (Stillgewässer mit Arm- leuchteralgen-Vegetation) Schutzgegenstand.

Bei allen LRT-Flächen ist im Ergebnis davon auszugehen, dass die derzeitige bzw. die zu- künftig zu erwartende Gesamtbelastung die ermittelten Critical Loads nicht überschreitet. Dies schließt auch die Zusatzbelastung durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau summarisch ein, Dies gilt für den Stickstoffeintrag als auch für den Säureeintrag. Insofern ist für diese Flächen eine erhebliche Beeinträchtigung derzeit und zukünftig sicher auszuschlie- ßen. Dieser Befund gilt auch für den Gewässer-LRT 3140 (siehe Kapitel 8.1 und dort Tab. 8-1). Zudem ist festzuhalten, dass auch die Zusatzbelastung durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau für alle LRT-Flächen das vorhabensbezogene Abschneidekriterium ein- hält. Auch dies gilt für Stickstoffeintrag und für Säureeintrag.

Erhebliche Beeinträchtigungen durch den Betrieb des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneu- bau auf das FFH-Gebiet Schwanheimer Düne können somit sicher ausgeschlossen werden.

Der vorhandene Erhaltungszustand der vorliegenden FFH-Lebensraumtypen wird durch das Vorhaben nicht verschlechtert.

### **FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald**

Das FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald ist überwiegend waldgeprägt und weist in den Waldbereichen durch die Erhaltungsziele geschützte Bestände des LRT 9110 (Hainsimsen-Buchenwald), des LRT 9130 (Waldmeister-Buchenwald) und des LRT 9190 (Alter bodensaurer Eichenwald) auf. Insbesondere im Bereich der ehemaligen Hochspannungstrasse im Nordosten des Gebietes sind zudem Offenland-Lebensraumtypen geschützt. Es handelt sich um den LRT 2310 (Trockene Sandheiden mit *Calluna* und *Genista*) und den LRT 2330 (Offene Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis* auf Binnendünen).

Für sämtliche Lebensraumtypen im FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald gilt, dass die ermittelten Critical Loads für die Stickstoffbelastung als auch für die Säurebelastung von der Gesamtbelastung einschließlich Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau nicht überschritten werden. Insbesondere bei den beiden Offenlandlebensraumtypen ist die Unterschreitung der Critical Loads deutlich und liegt für den Stickstoffeintrag bei  $4\text{-}5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  unterhalb der Critical Loads und für den Säureeintrag bei  $>1.000 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Beim Waldmeister-Buchenwald (LRT 9130) liegt die Gesamtbelastung des Stickstoffeintrags etwa in der Größenordnung des Critical Loads. Angesichts der Unschärfen bei der Bestimmung von Critical Loads und der Bestimmung von Stickstoffdepositionen ist aber auch hier nicht mehr von einer Gefährdung des Lebensraumtyps für die Zukunft auszugehen.

Für sämtliche Lebensraumtypen im FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald gilt zudem, dass die Zusatzbelastung durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau sehr geringfügig ist und flächendeckend das vorhabensbezogene Abschneidekriterium einhält. Dies gilt für Stickstoffeintrag und für Säureeintrag.

Insgesamt lässt sich somit feststellen, dass erhebliche Beeinträchtigungen auf das FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald durch den Betrieb des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau sicher ausgeschlossen werden können. Der Erhaltungszustand der vorliegenden FFH-Lebensraumtypen wird durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau nicht verschlechtert.

### **FFH-Gebiet Schwanheimer Wald**

Das FFH-Gebiet Schwanheimer Wald ist ebenfalls überwiegend waldgeprägt und weist in den Waldbereichen durch die Erhaltungsziele geschützte Bestände des LRT 9110 (Hainsimsen-Buchenwald), des LRT 9160 (Eichen-Hainbuchenwald), des LRT 9190 (Alter bodensaurer Eichenwald) sowie des LRT \*91E0 (Erlen- und Eschenwälder und Weichholzauen an Fließgewässern) auf. In den waldfreien Teilflächen finden sich zudem Bestände der Flachland-Mähwiesen (LRT 6510) sowie Bestände eines als Submediterraner Halbtrockenrasen geschützten Lebensraumtyps (LRT \*6212).

Für den Schwanheimer Wald liegen die Belastungen mit eutrophierenden Stickstoffeinträgen der FFH-Lebensraumtypen gemessen an den vergleichsweise niedrigen Critical Loads etwas höher. Der Critical Load für eutrophierenden Stickstoffeintrag ist in allen Wald-Lebensraumtypen zumindest auf Teilflächen um bis zu  $6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  überschritten. Gleichzeitig gilt allerdings, dass das Abschneidekriterium für Stickstoffeintrag von  $0,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im gesamten Gebiet eingehalten und die Zusatzbelastung durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau somit vernachlässigbar gering ist.

Für versauernden Stickstoff- und Schwefeleintrag sind die Critical Loads allerdings wie in den anderen Gebieten auch im Schwanheimer Wald sicher eingehalten. Daher ist die punktuelle Überschreitung des für Versauerungswirkungen geltenden Abschneidekriteriums von  $24 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  um  $2 \text{ eq}$  in Teilflächen des LRT 9160 nicht entscheidend. Aufgrund der insgesamt niedrigen Säurebelastung in den FFH-Lebensraumtypen ist nicht mit einer Beeinträchtigung zu rechnen.

Im Ergebnis ist somit festzustellen, dass durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau im Schwanheimer Wald erhebliche Beeinträchtigungen der geschützten FFH-Lebensraumtypen sicher ausgeschlossen werden können. Der Erhaltungszustand der vorliegenden FFH-Lebensraumtypen wird durch das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau nicht verschlechtert.

## 9 Zusammenfassung

Die vorliegende FFH-Verträglichkeitsprüfung befasst sich mit der Frage, ob durch die geplante Erweiterung des Heizkraftwerkes mit Gasturbinenneubau der Infraserb GmbH & Co. Höchst KG erhebliche Beeinträchtigungen in benachbarten FFH-Gebieten hervorrufen werden können. Dabei wird die Prüfung konzentriert auf den Wirkpfad der Stickstoff- und Säureinträge.

Die FFH-Verträglichkeitsprüfung basiert auf einer Modellierung der trockenen und nassen Deposition von Stickstoff und Schwefel, die von den emittierten Stoffen Stickoxid, Ammoniak und Schwefeldioxid ausgehen können (siehe Anlage 3: Ingenieurbüro Lohmeyer 2019). Auf dieser Grundlage wird eine Beurteilung in Bezug auf die benachbarten FFH-Gebieten durchgeführt. Betrachtet werden drei FFH-Gebiete, die in der Nähe der geplanten Anlage liegen: FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“, FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“ und FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“.

Als Prüfmaßstab werden vorsorglich Critical Loads für eutrophierenden Stickstoffeintrag und für versauernde Einträge von Stickstoff und Schwefel zugrunde gelegt. Diese Critical Load-Werte und die Vorgehensweise entsprechen dem aktuellen fachlichen Wissensstand. Neben den empirischen Critical Loads werden ergänzend standort- und vegetationstypspezifisch modellierte Critical Loads zugrunde gelegt (siehe Anlage 4 IBE/ÖKO-DATA 2019). Zur Bestimmung der Hintergrundbelastung mit Stickstoff- und Säuredepositionen werden bundesweite Datensätze des Umweltbundesamtes mit Stand 2013-15 verwendet. Als kumulativ zu berücksichtigende Projekte werden der kapazitive Flughafenausbau Frankfurt Main, die am Westrand der Schwanheimer Düne verlaufende Leunastraße sowie vorsorglich die EBS-Verbrennungsanlage im Industriepark Höchst in die Beurteilung einbezogen.

Im Ergebnis liegen die vom Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau voraussichtlich ausgehenden Stickstoffdepositionen für die betrachteten FFH-Gebiete und Lebensraumtypen im Bereich von maximal  $0,1$  bis  $0,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und die Säureinträge im Bereich von maximal  $8$  bis  $26 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Die Zusatzbelastungen liegen damit im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne und im FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald durchgängig in einer Größenordnung, die gemäß dem aktuellen Stand der naturschutzfachlichen Diskussion als irrelevant eingestuft werden kann. Auch im FFH-Gebiet Schwanheimer Wald liegen die Zusatzbelastungen überwiegend im irrelevanten Bereich. Lediglich Teile des LRT 9160 (Eichen-Hainbuchenwald) werden mit Säure-Zusatzbelastungen knapp oberhalb des Abschneidekriteriums von  $24 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  belastet. Gleichzeitig gilt jedoch, dass der Critical Load für Säureinträge in allen FFH-Gebieten deutlich unterschritten wird. Das im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne als LRT 3140 geschützte Stillgewässer wird aufgrund der speziellen Ökologie derartiger Gewässer und auf der Basis einer vorsorglichen Critical-Load-Betrachtung ebenfalls nicht erheblich durch die vom Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau ausgehenden Stoffeinträge über den Luftpfad beeinträchtigt.

Andere Wälder oder Naturschutzgebiete mit empfindlichen Vegetationsbeständen wie etwa der Niedwald in Frankfurt liegen außerhalb der FFH-Gebietskulisse und wurden nicht weiter betrachtet. Erhebliche Beeinträchtigungen durch Stickstoff- oder Säureinträge können aller-

---

dings ohne nähere Betrachtung sicher ausgeschlossen werden, da die Zusatzbelastung abseits der betrachteten FFH-Gebiete im irrelevanten Bereich liegt.

**Insgesamt ist im Ergebnis festzustellen, dass das Heizkraftwerk mit Gasturbinenneubau in keinem der untersuchten FFH-Gebiete erhebliche Beeinträchtigungen verursacht.**

## 10 Literatur

Ad-hoc-AG „Leitfaden zur Auslegung des § 34 BNatSchG im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren“ des LAI und LANA (2019): Hinweise zur Prüfung von Stickstoffeinträgen in der FFH-Verträglichkeitsprüfung für Vorhaben nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz - Stickstoffleitfaden BImSchG-Anlagen -. Beschlossen von der 137. LAI-Sitzung (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz) in Bremen und der 119. LANA-Sitzung (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung) in Saarlouis

Balla, S. (2005): NO<sub>x</sub>-Immissionen entlang von Straßen. Naturschutz und Landschaftsplanung, Heft 5-6/2005, S. 169-178.

Balla, S., Bernotat, D., Frommer, J., Garniel, A., Geupel, M., Hebbinghaus, H., Lorentz, H., Schlutow, A. und Uhl, R (2014): Stickstoffeinträge in der FFH-Verträglichkeitsprüfung: Critical Loads, Bagatellschwelle und Abschneidekriterium. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz (WLN) - Forest Ecology, Landscape Research and Nature Conservation WLN, Online-preview unter:

<http://www.afsv.de/index.php/waldoekologie-landschaftsforschung-und-naturschutz>.

BÖF (2015): Grunddatenerfassung zum FFH-Gebiet 5917-303 „Kelsterbacher Wald“. Endabgabe auf Grundlage der Monitoringdaten 2013. - Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des RP Darmstadt (Mai 2015).

BMVBS – Bundesministerium Für Verkehr, Bauwesen Und Städtebau (2013): Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope. Endbericht zum FE-Vorhaben 84.0102/2009 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, verfasst von Balla, S., Uhl, R., Schlutow, A., Lorentz, H., Förster, M., Becker, C., Scheuschner, Th., Kiebel, A., Herzog, W., Düring, I., Lüttmann, J., Müller-Pfannenstiel, K.= Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1099, BMVBS Abteilung Straßenbau, Bonn

Bobbink, R. und Hettelingh, J.-P. (Hrsg.) (2011): Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. Coordination Centre for Effects, RIVM, NL.

Online im Internet:

<http://www.b-ware.eu/content/project/publicaties/Review-revision-empirical-critical-loads-2011.pdf>

Bobbink, R.; Ashmore, M.; Braun, S.; Flückiger, W. & Van Den Wyngaert, I. J. J. (2002): Empirical nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: 2002 update, Online im Internet:

<http://www.icpmap-ping.org/html/manual.html>

Builtjes, P.; Hendriks, E.; Koenen, M.; Schaap, M.; Banzhaf, S.; Kerschbaumer, A.; Gau-Ger, T.; Nagel, H. D.; Scheuschner, T.; Schlutow, A. (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung

von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland (MAPESI – Modelling of Air Pollutants and Ecosystem Impacts). Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben FKZ 3707 64 200. Utrecht, März 2011.

Online im Internet:

[http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/3707\\_64\\_200\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/3707_64_200_bf.pdf)

Bernhardt-Römermann, M., T. Kudernatsch, J. Pfadenhauer, M. Kirchner, G. Jacobi & A. Fischer (2007): Long-term effects of nitrogen deposition on vegetation in a deciduous forest near Munich, Germany. *Applied Vegetation Science* 10: 399 - 406.

Ecoplan – Büro für ökologische Fachplanungen (2004): Grunddatenerfassung für das FFH-Gebiet Nr. 5917-303 „Kelsterbacher Wald“ (Kreis Groß-Gerau, Stadt Frankfurt). Im Auftrag des RP Darmstadt (Oktober 2004).

FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2019): Hinweise zur Prüfung von Stickstoffeinträgen in der FFH-Verträglichkeitsprüfung für Straßen – H PSE - Stickstoffleitfaden Straße. Leitfaden des Arbeitskreises Stickstoff in der FFH-VP.

Gauger, T. (2011): Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE: Erstellung einer methodenkonsistenten Zeitreihe von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland, Teil 2: (1) Kartierung von Deposition Loads für das Prognose-Jahr 2020: Modellierungs- und Kartierungsergebnisse, Kartenabbildungen, Grafiken und regionale Statistik. Endbericht zum FE-Vorhaben des BMU/UBA 351 01 081.

Online im Internet:

<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4443.html>

Gessler, A., Rennenberg, H. (o.J.): Wirkung erhöhter N-Depositionen auf die Ernährung und das Wachstum von Bäumen. In: Umweltbundesamt, Hrsg., Wirkung von Stickstoff auf Ökosysteme – ein Statuskolloquium. Kurzfassungen der Vorträge. Berlin, unveröffentlichtes Manuskript.

ICP Modelling & Mapping (2004 ff.): Manual on methodologies and criteria for modeling and mapping critical loads & levels. Laufend aktualisiertes Handbuch.

Online im Internet unter:

<http://www.rivm.nl/en/themasites/icpmm/manual-and-downloads/index.html>

IVU Umwelt GmbH (2006): Gutachten G13.4 Luftschadstoffe – Gesamtmissionen. Gutachten im Auftrag der Fraport AG für die Planfeststellungsunterlagen zum kapazitiven Flughafenbau Frankfurt Main

KifL – Kieler Institut für Landschaftsökologie (2008): Bewertung von Stickstoffeinträgen im Kontext der FFH-Verträglichkeitsstudie.

Kirchner, M.; Fischer, A.; Jakobi, G.; Bernhardt, M. (2006): Untersuchungen des Zustandes von Ökosystemen im Alpenvorland entlang von Gradienten des Stickstoffeintrags. Schlussbericht. Forschungsprojekt im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, StMUGV-Förderkennzeichen: 76a-8731.2 – 1999/1 GSF-FE-Nr.: 76425.

Online im Internet:

<http://www.stmug.bayern.de/umwelt/luftreinhaltung/download/index.htm>

Korsch, H., A. Doege, U. Raabe & K. van de Weyer (2013): Rote Liste der Armleuchteralgen (Charophyceae) Deutschlands. 3. Fassung Stand: Dezember 2012. = HAUSSKNECHTIA Beiheft 17 (2013).

Kruit, R.W., Schaap, M., Segers, A., Heslinga, D. Bultjes, P., Banzhaf, S. und Scheuschner, T. (2014): Modelling and mapping of atmospheric nitrogen and sulphur deposition and critical loads for ecosystem specific assessment of threats to biodiversity in Germany – PINETI (Pollutant INput and EcosysTem Impact). Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben FKZ 3710 63 246 (= UBA-Texte 60/2014)

Online im Internet:

[http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_60\\_2014\\_modelling\\_and\\_mapping\\_of\\_atmospheric\\_nitrogen\\_part\\_1\\_0.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_60_2014_modelling_and_mapping_of_atmospheric_nitrogen_part_1_0.pdf)

siehe auch für Daten zu Depositionen

<http://gis.uba.de/website/depo1/>

siehe auch für Daten zu versauernden Schwefelverbindungen

[http://gis.uba.de/website/depo1/download/PINETI2\\_intermediate\\_report\\_2009\\_final.pdf](http://gis.uba.de/website/depo1/download/PINETI2_intermediate_report_2009_final.pdf).

LAI-Arbeitskreis „Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen“ (2012a): Leitfaden, Abschlussbericht Langfassung, Entwurfsstand 01.03.2012.

Online im Internet:

<http://www.lanuv.nrw.de/landwirtschaft/zulassung/zulassung.htm>.

LAI-Arbeitskreis „Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen“ (2012b): Leitfaden, Abschlussbericht, Kurzfassung, Entwurfsstand 01.03.2012.

Online im Internet:

<http://www.lanuv.nrw.de/landwirtschaft/zulassung/zulassung.htm>.

Hicks, W. K.; Whitfield, C. P.; Bealey, W. J.; Sutton, M. A. (Hrsg.) (2011): Nitrogen Deposition and Natura 2000. Science & practice in determining environmental impacts. = Book of Proceedings of the COST729 Mid-term workshop, Stand April 2011

Online im Internet:

<http://cost729.ceh.ac.uk/n2kworkshop>.

IBL – Institut für Botanik und Landschaftskunde / BFS – Büro für Fischökologische Studien (2003): Grunddatenerfassung für Monitoring und Management im FFH-Gebiet 5917-301 „Schwanheimer Düne“. Im Auftrag des RP Darmstadt, März 2003.

ICP Modelling & Mapping (2004 ff.): Manual on methodologies and criteria for modeling and mapping critical loads & levels. Laufend aktualisiertes Handbuch.

Online im Internet:

[www.icpmodelling.org](http://www.icpmodelling.org)

LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (2012): Abschneidekriterien zur Festlegung des Untersuchungsgebietes, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Essen, Interner Vermerk 18. Juni 2012.

LfU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg., 1999): Wirkungen von Emissionen des Kfz-Verkehrs auf Pflanzen und die Umwelt – Literaturstudie. Ökologische Umweltbeobachtung 1, Karlsruhe.

LUA Brbg - Landesumweltamt Brandenburg (2019): Vollzugshilfe zur Ermittlung der Erheblichkeit von Stoffeinträgen in Natura 2000-Gebiete. Stand: 18.04.2019.

Mohr, K.; Meesenburg, H.; Horváth, B.; Meiwes, K. J.; Schaaf, S.; Dämmgen, U. (2005): Bestimmung von Ammoniak-Einträgen aus der Luft und deren Wirkungen auf Waldökosysteme (ANSWER-Projekt). Schlussbericht des UFOPLAN-Vorhabens 200 88 213 im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Oldenburg, Göttingen, Braunschweig im März 2005

Nagel, H.-D., Gregor, H.-D. 1999: Ökologische Belastungsgrenzen – Critical Loads & Levels. Ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik. Springer-Verlag, Berlin u.a.

PlanWerk (2004): Grunddatenerhebung für Monitoring und Management – FFH-Gebiet Nr. 5917-305 „Schwanheimer Wald“. Im Auftrag des RP Darmstadt (Oktober 2004).

RPDA - Regierungspräsidium Darmstadt (2011a): Maßnahmenplan (Bewirtschaftungsplan) für das FFH-Gebiet 5917-301 „Schwanheimer Düne“. Version 21.01.2011.

RPDA - Regierungspräsidium Darmstadt (2011b): Bewirtschaftungsplan (Maßnahmenplan) für das FFH-Gebiet 5917-305 Schwanheimer Wald. Gültigkeit: 2011; Version 10.02.2011.

Schaab, M, C. Hendriks, R. Kranenburg, J. Kuenen, A. Segers, A. Schlutow, H.-D. Nagel, A. Ritter, S. Banzhaf (2018): PINETI-3: Modellierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystem-spezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland. = UBA-Texte 79/2018.

Straub, W., H. Hebbinghaus, A. Sowa und S. Wurzler (2013): Ermittlung von Stickstoff- und Säureeinträgen in Wäldern mit Lagrange'schen Ausbreitungsmodellen: Vergleich unterschiedlicher Berechnungsmethoden. Immissionsschutz, H. 1/13, S. 16-20.

Uhl, R., S. Balla, J. Lüttmann (2007): Ermittlung und Bewertung der verkehrsbürtigen N-Deposition in FFH-Gebieten. – Methodenvorschlag vor dem Hintergrund des BVerwG-Urteils

---

vom 17.01.07 (Westumfahrung Halle). – Arbeitspapier im Auftrag der DEGES (Stand September 2007).

Uhl, R.; Lüttmann, J.; Balla, S.; Müller-Pfannenstiel, K. (2009): Ermittlung und Bewertung von Wirkungen durch Stickstoffdeposition auf Natura 2000 Gebiete in Deutschland.

Herne, 14.08.2019



Dr. Stefan Balla



# Stickstoffeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau in Offenland

- FFH-Gebietsgrenzen
  
- Lebensraumtypen**

  - 2310 Trockene Sandheiden
  - 2330 Offene Grasflächen
  - 3140 Stillgewässer mit Armleuchteralgen-Vegetation
  - 3150 Natürliche eutrophe Seen
  - 6212 Submediterrane Halbtrockenrasen
  - 6510 Magere Flachlandmähwiesen
  - 9110 Hainsimsen-Buchenwald
  - 9130 Waldmeister-Buchenwald
  - 9160 Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Hainbuchenwald
  - 9190 Alte bodensaure Eichenwälder
  - 91E0 Erlen- und Eschenwälder und Weichholzaun an Fließgewässern

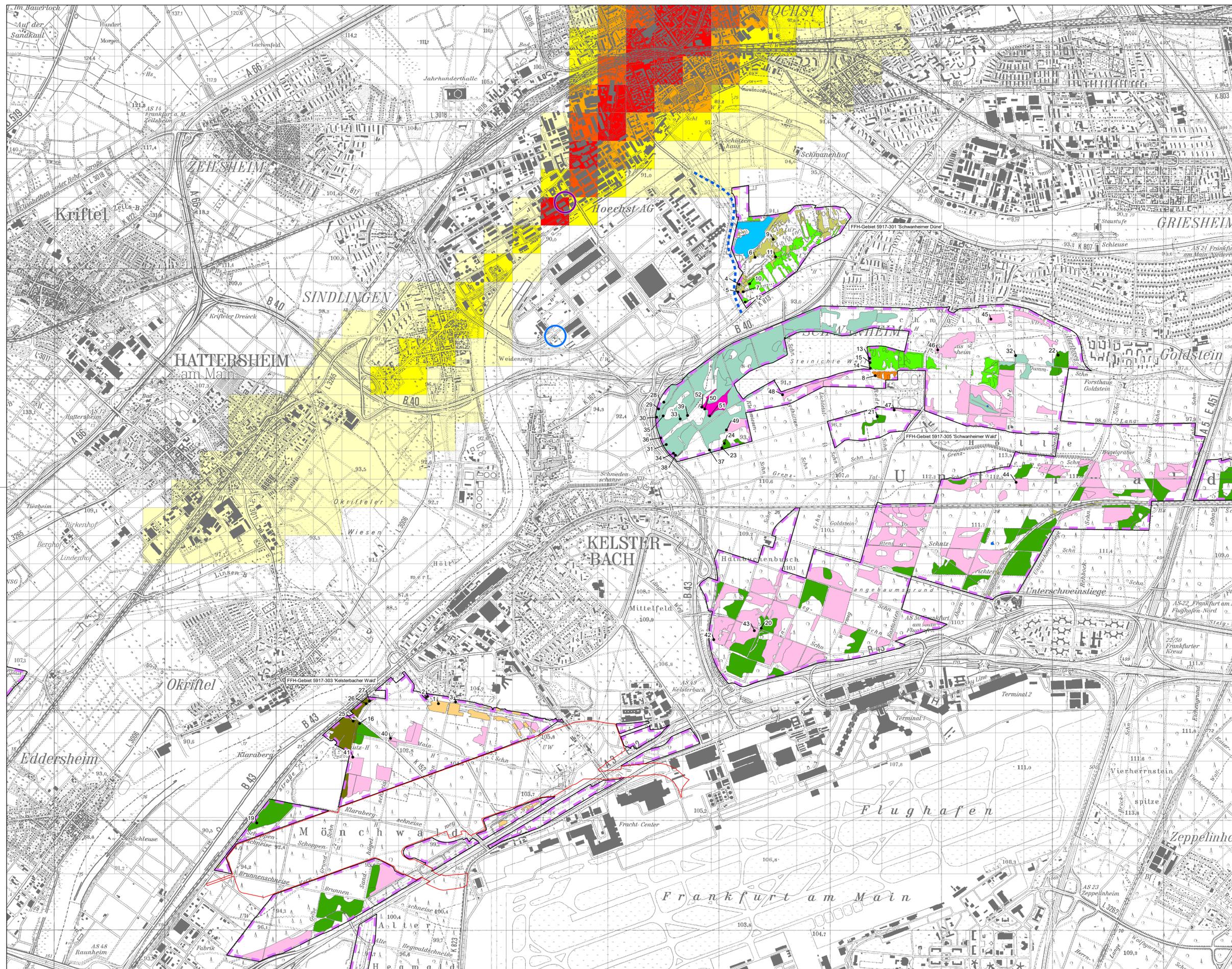
  
- Stickstoffeintrag** (Zusatzbelastung durch Neubau der Gasturbine E536 mit Depositionsgeschwindigkeit gemäß TA Luft in kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)

  - 0 - 0,3
  - >0,3 - 0,5
  - >0,5 - 0,7
  - >0,7 - 0,9
  - >0,9 - 1,1
  - >1,1 - 1,5

  
- Beurteilungspunkt für die Critical Load-Modellierung
  
- Standort Neubau der Gasturbine E536 im Industriepark Höchst
  
- Standort EBS-Verbrennungsanlage im Industriepark Höchst
  
- Lage der Landebahn Nord-West des Flughafens Frankfurt Main
  
- Leunastraße

## Stickstoffeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau in Offenland

 bosch & partner <small>Lortzingstraße 1    30177 Hannover          Tel. 0511-390891-80    Fax: 0511-390891-90</small>	Stand: 14.08.2019 bearbeitet: Balla gezeichnet: Rohr geprüft: Balla
	<b>Anlage 1.1</b>
Gutachterliche Stellungnahme zur FFH-Verträglichkeit für die Erweiterung des Heizkraftwerks im Industriepark Höchst	
 Maßstab 1 : 15.000	



### Stickstoffeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau in Wälder

- FFH-Gebietsgrenzen
  
- Lebensraumtypen**

  - 2310 Trockene Sandheiden
  - 2330 Offene Grasflächen
  - 3140 Stillgewässer mit Armleuchteralgen-Vegetation
  - 3150 Natürliche eutrophe Seen
  - 6212 Submediterrane Halbtrockenrasen
  - 6510 Magere Flachlandmähwiesen
  - 9110 Hainsimsen-Buchenwald
  - 9130 Waldmeister-Buchenwald
  - 9160 Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Hainbuchenwald
  - 9190 Alte bodensaure Eichenwälder
  - 91E0 Erlen- und Eschenwälder und Weichholzaun an Fließgewässern

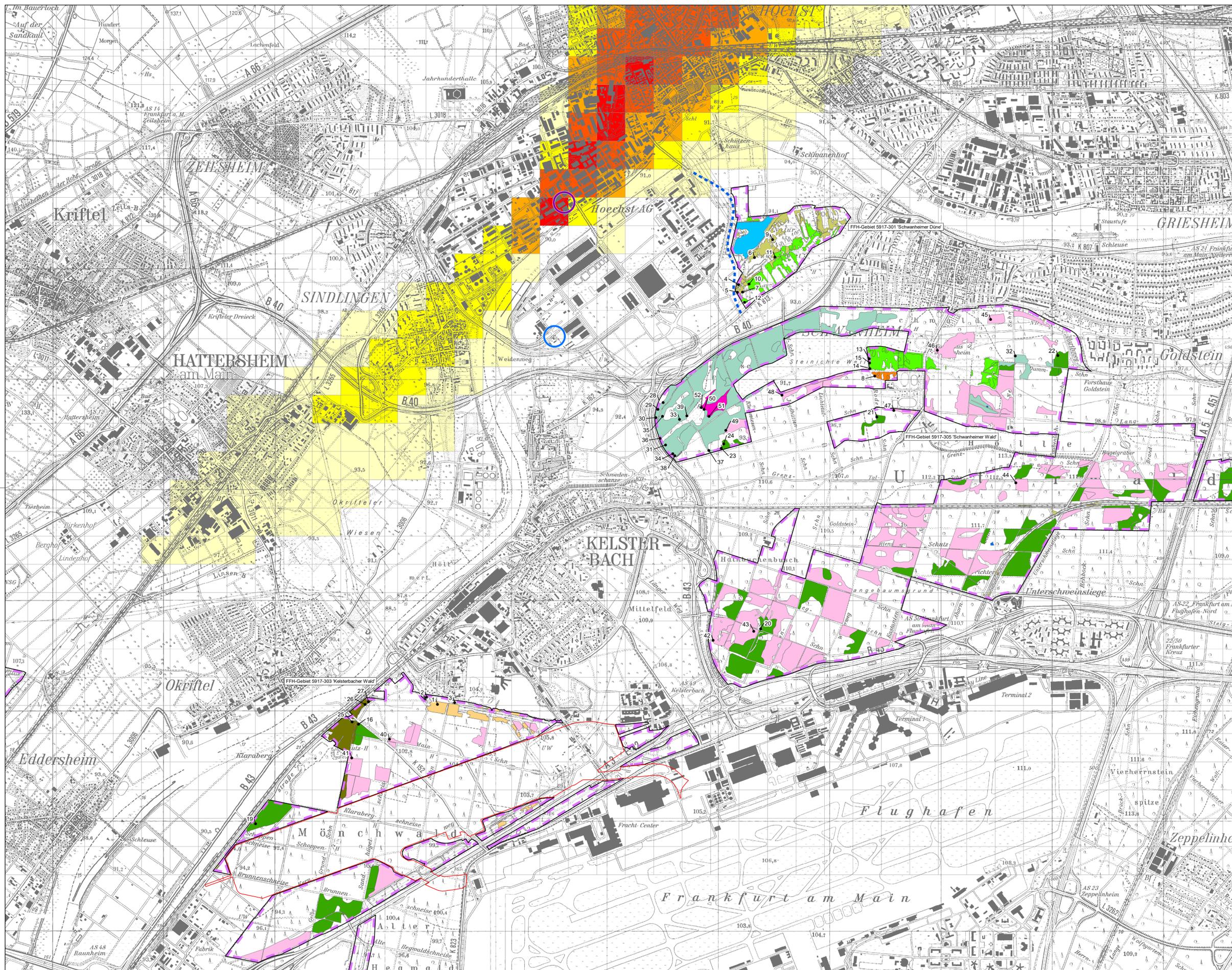
  
- Stickstoffeintrag** (Zusatzbelastung durch Neubau der Gasturbine E536 mit Depositionsgeschwindigkeit für Wald in kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)

  - 0 - 0,3
  - >0,3 - 0,5
  - >0,5 - 0,7
  - >0,7 - 0,9
  - >0,9 - 1,1
  - >1,1 - 1,5

  
- Standort Neubau der Gasturbine E536 im Industriepark Höchst
- Standort EBS-Verbrennungsanlage im Industriepark Höchst
- Lage der Landebahn Nord-West des Flughafens Frankfurt Main
- Leunastraße

### Stickstoffeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau in Wälder

 bosch & partner <small>Lortzingstraße 1    30177 Hannover          Tel. 0511-390891-80    Fax: 0511-390891-90</small>	Stand: 14.08.2019 bearbeitet: Balla gezeichnet: Rohr geprüft: Balla
	<b>Anlage 1.2</b>
Gutachterliche Stellungnahme zur FFH-Verträglichkeit für die Erweiterung des Heizkraftwerks im Industriepark Höchst	
 Maßstab 1 : 15.000	



# Säureeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau in Offenland

- FFH-Gebietsgrenzen
  
- Lebensraumtypen**

  - 2310 Trockene Sandheiden
  - 2330 Offene Grasflächen
  - 3140 Stillgewässer mit Armleuchteralgen-Vegetation
  - 3150 Natürliche eutrophe Seen
  - 6212 Submediterrane Halbtrockenrasen
  - 6510 Magere Flachlandmähwiesen
  - 9110 Hainsimsen-Buchenwald
  - 9130 Waldmeister-Buchenwald
  - 9160 Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Hainbuchenwald
  - 9190 Alte bodensaure Eichenwälder
  - 91E0 Erlen- und Eschenwälder und Weichholzauen an Fließgewässern

  
- Säureeintrag** (Zusatzbelastung durch Neubau der Gasturbine E536 mit Depositionsgeschwindigkeit gemäß TA Luft in eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)

  - 0 - 24
  - >24 - 35
  - >35 - 45
  - >45 - 60
  - >60 - 80
  - >80 - 120

  - Beurteilungspunkt für die Critical Load-Modellierung
  - Standort Neubau der Gasturbine E536 im Industriepark Höchst
  - Standort EBS-Verbrennungsanlage im Industriepark Höchst
  - Lage der Landebahn Nord-West des Flughafens Frankfurt Main
  - Leunastraße

**Säureeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau in Offenland**

bosch & partner

Lortzingstraße 1    30177 Hannover  
Tel. 0511-390891-80    Fax: 0511-390891-90

Stand: 14.08.2019

bearbeitet: Balla

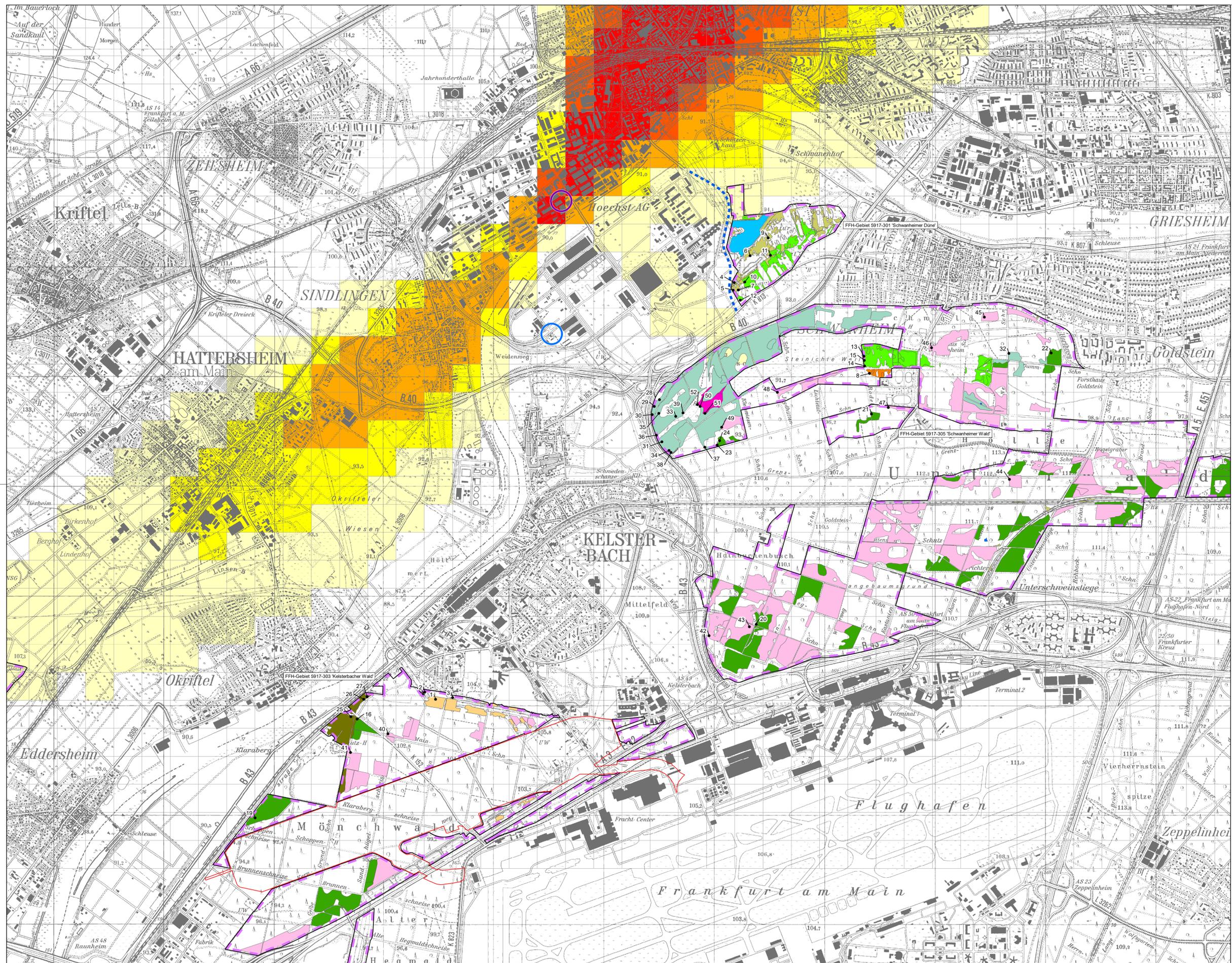
gezeichnet: Rohr

geprüft: Balla

**Anlage 2.1**

Gutachterliche Stellungnahme zur FFH-Verträglichkeit für die Erweiterung des Heizkraftwerks im Industriepark Höchst

Maßstab 1 : 15.000



# Säureeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau in Wälder

FFH-Gebietsgrenzen

- Lebensraumtypen**
- 2310 Trockene Sandheiden
  - 2330 Offene Grasflächen
  - 3140 Stillgewässer mit Armleuchteralgen-Vegetation
  - 3150 Natürliche eutrophe Seen
  - 6212 Submediterrane Halbtrockenrasen
  - 6510 Magere Flachlandmähwiesen
  - 9110 Hainsimsen-Buchenwald
  - 9130 Waldmeister-Buchenwald
  - 9160 Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Hainbuchenwald
  - 9190 Alte bodensaure Eichenwälder
  - 91E0 Erlen- und Eschenwälder und Weichholzaun an Fließgewässern

- Säureeintrag** (Zusatzbelastung durch Neubau der Gasturbine E536 mit Depositionsgeschwindigkeit für Wald in  $eq\ ha^{-1}a^{-1}$ )
- 0 - 24
  - >24 - 35
  - >35 - 45
  - >45 - 60
  - >60 - 80
  - >80 - 120

- Beurteilungspunkt für die Critical Load-Modellierung
- Standort Neubau der Gasturbine E536 im Industriepark Höchst
- Standort EBS-Verbrennungsanlage im Industriepark Höchst
- Lage der Landebahn Nord-West des Flughafens Frankfurt Main
- Leunastraße

# Säureeintrag des Heizkraftwerks mit Gasturbinenneubau in Wälder

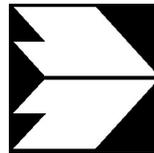
**bosch & partner**

Lortzingstraße 1 30177 Hannover  
 Tel. 0511-390891-80 Fax: 0511-390891-90

Stand: 14.08.2019  
 bearbeitet: Balla  
 gezeichnet: Rohr  
 geprüft: Balla  
**Anlage 2.2**

Gutachterliche Stellungnahme zur FFH-Verträglichkeit für die Erweiterung des Heizkraftwerks im Industriepark Höchst

Maßstab 1 : 15.000



**Ingenieurbüro Lohmeyer  
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,  
Aerodynamik, Umweltsoftware**

Mohrenstraße 14, D - 01445 Radebeul

Telefon: +49 (0) 351 / 8 39 14 - 0

Telefax: +49 (0) 351 / 8 39 14 59

E-Mail: [info.dd@lohmeyer.de](mailto:info.dd@lohmeyer.de)

URL: [www.lohmeyer.de](http://www.lohmeyer.de)

Büroleiter: Dr. rer. nat. Ingo Düring

**bekanntgegebene Stelle nach § 29b BImSchG  
für den Aufgabenbereich O - Gerüche**

Anlage 3 zur FFH-Verträglichkeitsprüfung  
(Inhaltsverzeichnis und Zusammenfassung)

Komplettes Dokument abgelegt unter  
Anhang zu Kapitel 8  
Ordner 2 des BImSchG-Antrags.

## IMMISSIONSPROGNOSE

### ERWEITERUNG HEIZKRAFTWERK INDUSTRIEPARK HÖCHST

Auftraggeber: Infraseriv GmbH & Co. Höchst KG  
Industriepark Höchst  
65926 Frankfurt am Main

*Antje Moldenhauer*  
Dipl.-Met. A. Moldenhauer

*I. Düring*  
Dr. rer. nat. I. Düring

Juli 2019  
Projekt 71614-18-03  
Berichtsumfang 135 Seiten

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN .....</b>	<b>1</b>
<b>1 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2 AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>5</b>
<b>3 VORGEHENSWEISE .....</b>	<b>7</b>
<b>4 BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN.....</b>	<b>8</b>
4.1 Zusammenfassung der Grenzwerte.....	8
4.2 Einhaltung der Immissionswerte .....	9
4.2.1 Immissions-Jahreswert.....	9
4.2.2 Immissions-Tageswert.....	9
4.2.3 Immissions-Stundenwert .....	9
4.3 Irrelevanzschwellen für die Zusatzbelastung nach TA Luft.....	10
<b>5 EINGANGSDATEN .....</b>	<b>12</b>
5.1 Örtliche Verhältnisse.....	12
5.1.1 Lage des Untersuchungsgebiets und der Anlage .....	12
5.1.2 Relief der Umgebung.....	14
5.1.3 Nutzungsstruktur in der Umgebung .....	15
5.1.4 Erkenntnisse aus dem Ortstermin .....	18
5.2 Vorbelastungssituation .....	18
5.3 Meteorologische Daten .....	18
5.3.1 Räumliche Repräsentanz .....	19
5.3.2 Zeitliche Repräsentanz.....	21
5.3.3 Thermische Windsysteme .....	22
5.4 Anlagenbeschreibung / Beschreibung der Emittentenstruktur .....	22
5.4.1 Bestehende und geplante Anlage allgemein .....	22
5.4.2 Emissionsrelevante Eingangsdaten für die vorhandene Anlage.....	25
5.4.3 Emissionsrelevante Eingangsdaten für die geplante Anlage .....	29

<b>6</b>	<b>SCHORNSTEINHÖHENBESTIMMUNG</b>	<b>32</b>
6.1	Gesetzliche Grundlagen	32
6.1.1	Schornsteinhöhe nach TA Luft (2002) Nr. 5.5.3	32
6.1.2	Ermittlung der gebäudebedingten Schornsteinhöhe nach VDI 3781 Blatt 4	35
6.2	Festlegung der Schornsteinhöhen für die einzelnen Quellen	39
<b>7</b>	<b>QUELLEN UND EMISSIONEN</b>	<b>40</b>
7.1	Zusatzbelastung durch die geplante Anlage	40
7.1.1	Kategorisierung nach Quellgeometrie	40
7.1.2	Abgasfahnenüberhöhung	41
7.1.3	Quantifizierung der Emissionen für die geplante Anlage	42
7.1.4	Quantifizierung der Emissionen für die vorhandene Anlage	47
7.1.5	Zeitliche Charakteristik	47
7.1.6	Zusammenfassende Darstellung der Emissionen	47
<b>8</b>	<b>AUSBREITUNGSMODELLIERUNG</b>	<b>49</b>
8.1	Rechengebiet	49
8.1.1	Ausdehnung und räumliche Auflösung	49
8.1.2	Bodenrauigkeit des Geländes	49
8.2	Komplexes Gelände - Auswirkungen auf die Windfeldmodellierung	50
8.2.1	Berücksichtigung von Geländeunebenheiten	50
8.2.2	Berücksichtigung von Bebauung	52
8.2.3	Mindestanforderungen an ein Windfeldmodell	53
8.3	Rechenparameter	54
8.3.1	Anemometerposition und Anemometerhöhe	54
8.3.2	Statistische Sicherheit	54
8.3.3	Depositionsgeschwindigkeiten	54
8.3.4	NO-NO <sub>2</sub> -Konversion	56
<b>9</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>57</b>
9.1	Staub	59

9.2 Stickstoffoxide.....	61
9.3 Schwefeldioxid.....	62
9.4 Stickstoffdeposition für Planfall 80 m.....	63
9.5 Säuredeposition für Planfall 80 m.....	65
9.6 Zusammenfassende Bewertung.....	68
<b>10 LITERATUR.....</b>	<b>70</b>
<b>A1 MATERIALIEN UND UNTERLAGEN.....</b>	<b>74</b>
<b>A2 QPR WIND.....</b>	<b>75</b>
<b>A3 LOG-DATEIEN DER RECHENLÄUFE AM BEISPIEL FÜR DEN PLANFALL 80 M.....</b>	<b>117</b>
<b>A4 GUTACHTEN DER SGS-TÜV SAAR GMBH (2019): PRÜFUNG VERHÄLTNIS NO/NO<sub>2</sub> IM ABGAS KESSEL 2 INFRASERV HÖCHST.....</b>	<b>124</b>

Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung des Ingenieurbüros Lohmeyer GmbH & Co. KG nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

## ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

### **Emission / Immission**

Als Emission bezeichnet man die von einem Emittenten ausgestoßene Luftschadstoffmenge in Gramm Schadstoff pro Stunde. Die in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe werden vom Wind verfrachtet und führen im umgebenden Gelände zu Schadstoffkonzentrationen, den so genannten Immissionen. Diese Immissionen stellen Luftverunreinigungen dar. Die Maßeinheit der Immissionen am Untersuchungspunkt ist für die Immissionskonzentration  $\mu\text{g}$  Schadstoff pro  $\text{m}^3$  Luft und für die Deposition  $\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$  bzw.  $\text{mg}/(\text{m}^2 \text{ d})$ .

### **Vorbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung**

Als Vorbelastung werden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des betrachteten Betriebs an den Untersuchungspunkten vorliegen. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich durch den betrachteten Betrieb hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Vorbelastung und Zusatzbelastung.

### **Feinstaub / PM10 / PM2.5**

Mit Feinstaub bzw. PM10 / PM2.5 werden alle Partikel bezeichnet, die einen größenselektierenden Luftenlass passieren, der für einen aerodynamischen Partikeldurchmesser von  $10 \mu\text{m}$  bzw.  $2.5 \mu\text{m}$  eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist. Die PM10-Fraktion wird auch als inhalierbarer Staub bezeichnet. Die PM2.5-Fraktion gelangt bei Inhalation vollständig bis in die Alveolen der Lunge; sie umfasst auch den wesentlichen Masseanteil des anthropogen erzeugten Aerosols, wie Partikel aus Verbrennungsvorgängen und Sekundärpartikel.

### **Gesamtstaub**

Staubpartikel aller Größenordnungen, die sich zunächst als Schwebstaub in der Luft halten und sich nicht sofort auf dem Boden niederschlagen. Teilweise auch abgekürzt als TSP (Total Suspended Particulates). PM10 ist ein Teil des Gesamtstaubs.

### **Staubdeposition**

Der Eintrag von Staubpartikeln aus der Atmosphäre in terrestrische und aquatische Ökosysteme. Grundsätzlich können Stoffeinträge aus der Atmosphäre durch sedimentierende und nicht sedimentierende Partikel erfolgen. Die betrachteten Stäube weisen in Abhängigkeit von ihrer Korngröße Depositions- und Sedimentationsgeschwindigkeiten auf.

**Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>)**

Gemäß TA Luft (2002) werden unter Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) die Summe aus Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) verstanden. Unmittelbare schädliche Wirkungen auf den Menschen bringt NO<sub>2</sub> mit sich.

NO<sub>2</sub> ist ein Reizgas, welches in hohen Konzentrationen die Schleimhäute schädigt.

Bei den Emissionen wird die Gesamtheit der NO<sub>x</sub>-Emission betrachtet. Diese besteht überwiegend aus NO-Emissionen und einem kleineren Anteil an direkten NO<sub>2</sub>-Emissionen. Auf dem Ausbreitungspfad wandelt sich emittiertes NO allmählich in NO<sub>2</sub> um.

**Deposition**

Unter atmosphärischer Deposition werden die Stoffflüsse aus der Erdatmosphäre auf die Erdoberfläche verstanden, das heißt der Austrag und die Ablagerung von gelösten, partikelgebundenen oder gasförmigen Luftinhaltsstoffen auf Oberflächen biotischer oder abiotischer Systeme.

Die atmosphärische Deposition ist ein komplexer, aus vielen Einzelmechanismen bestehender Vorgang. Größere Partikel und Tropfen folgen der Schwerkraft und sedimentieren. Kleinere schwebende Partikel werden mit den Turbulenzen der Luftströmungen auf Oberflächen abgelagert. Gase werden an feuchten Oberflächen gelöst oder von trockenen Oberflächen adsorbiert.

*Trockene atmosphärische Deposition* ist der Austrag von Substanzen durch feste Partikel und kleine flüssige Partikel (Nebel- und Wolkenröpfchen) sowie von Gasen aus der Atmosphäre einschließlich ihrer Ablage auf Akzeptoroberflächen. Der Vorgang des Austrags und der Ablage von Stoffen durch kleine flüssige Partikel (Tröpfchen) wird auch gesondert als feuchte atmosphärische Deposition bezeichnet. Nasse atmosphärische Deposition ist der Austrag von gelösten und ungelösten (an Partikeln haftenden) Substanzen durch wässrige Niederschläge wie Regen, Schnee und Hagel.

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Die Firma Infraserv GmbH & Co. Höchst KG betreibt im nördlichen Teil des Industrieparks Höchst ein Heizkraftwerk zur Versorgung der dort ansässigen industriellen Kunden mit thermischer Energie (Dampf) und elektrischer Energie (Strom). Infraserv Höchst plant in unmittelbarer Nähe zum bestehenden Kraftwerk D 580 den Neubau von zwei erdgasbefeuerten Gasturbinen (GT-X7 und GT-X8) mit jeweils bis zu ca. 260 MW<sub>th</sub> Feuerungswärmeleistung (je bis zu 97 MW<sub>el</sub> elektrische Leistung) und zwei nachgeschalteten, mit Erdgas zusatzgefeuerten Abhitzedampferzeugern (AHDE). Der erzeugte Dampf wird über bestehende Dampfturbinen zur Stromerzeugung genutzt und anschließend in das bestehende Dampfnetz eingespeist.

Die neue Gasturbinenanlage (Gasturbinenneubau E536) wird als Nebenanlage des Heizkraftwerks errichtet und betrieben.

Für den Gasturbinenneubau E536 soll im Rahmen des Genehmigungsantrags eine Schornsteinhöhenbestimmung durchgeführt sowie eine Immissionsprognose für die Gesamtanlage Heizkraftwerk nach Erweiterung um den Gasturbinenneubau erstellt werden.

Die Schornsteinhöhenbestimmung betrifft die geplante Gasturbinenanlage mit Anfahr-, Dauerkaminen und Kaminen für die Notstromaggregate.

Die Immissionsprognose soll für die Luftschadstoffe Stickstoffoxide, Schwefeloxide, Staub und Ammoniak zum einen für zehn Quellen für den Betriebszustand des Heizkraftwerkes nach Inbetriebnahme der Gasturbinenanlage (ohne Kohle-Kessel) und zum anderen für ca. 12 Quellen für einen Übergangszustand während der Inbetriebnahmephase (Probebetrieb) der Gasturbinenanlage (mit Kohle-Kessel) erstellt werden. Die Betrachtung des Übergangszustandes erfolgt in einem separaten Gutachten. Hier wird der Fall nach vollständiger Inbetriebnahme der genannten geplanten Anlagen und Abschaltung der Kohlekessel betrachtet.

Des Weiteren sollen die Stickstoff- und Säureeinträge in umliegende FFH-Gebiete quantifiziert werden.

Bei der Immissionsprognose sind die Vorgaben und Anforderungen der TA Luft (2002) und der VDI 3783 Blatt 13 (VDI, 2010) zu beachten inkl. Gebäudeberücksichtigung und ggf. Gelände.

Betrachtet werden 2 Varianten:

- Planfall 51 m: Gesamtanlage nach Umsetzung der Planung mit Mindestschornsteinbauhöhen nach TA Luft für die neuen relevanten Schornsteine
- Planfall 80 m: Emission der Gesamtanlage nach Umsetzung der Planung mit einer Schornsteinbauhöhe für die relevanten neuen Quellen von 80 m

Als langjähriges repräsentatives Jahr wurde bei den meteorologischen Daten ein Schaltjahr ermittelt (2012). Aus diesem Grund wurden die Emissionszeitreihen ebenfalls für ein Schaltjahr bestimmt, um eine Übereinstimmung zwischen Meteorologie und Emissionszeitreihen zu erzielen.

### **Ergebnis:**

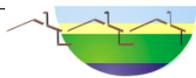
Die Zusatz-Immissionsbelastung der betrachteten relevanten Schadstoffe durch das erweiterte Heizkraftwerk der Infraseriv inklusive der Neuanlage Gasturbine GTX7/8 im Planfall wird für beide betrachteten Varianten (Planfall 51 m und Planfall 80 m) als irrelevant im Sinne der TA Luft errechnet. Damit muss keine Erhebung des Beitrags durch andere Quellen erfolgen.

Höhere Quellhöhen führen zu einer Reduktion der maximalen Belastungen am Erdboden. Deshalb sind die berechneten Belastungen für den Planfall 80 m geringer als für den Planfall 51 m.

Aus Sicht des Fachgutachtens bestehen für den Teilbereich „Schadstoff-Immission“ keine Konflikte mit den einschlägigen Grenzwerten.

Eine Bewertung der Stickstoffdeposition und der Säure-Deposition erfolgt im vorgelegten Gutachten nicht. Die Rechenergebnisse wurden 1:1 an den Fachgutachter Bosch & Partner GmbH übergeben, der die Bewertung der FFH-Verträglichkeit übernimmt.

Die abschließende Bewertung der vorliegenden Ergebnisse obliegt der genehmigenden Behörde.



**Teilgutachten zur FFH-Verträglichkeit  
der Auswirkungen von eutrophierenden und versauernden  
Fremdstoffdepositionen  
des geplanten Gasturbinen-Heizkraftwerkes Höchst  
auf die Erhaltungsziele der geschützten FFH-  
Lebensraumtypen in den FFH-Gebieten  
„Kelsterbacher Wald“,  
„Schwanheimer Düne“ und  
„Schwanheimer Wald“**

Infraserv GmbH & Co. Höchst KG  
Bereich Umweltschutz - Genehmigungen  
Industriepark Höchst  
65926 Frankfurt am Main

Bearbeitet von:  
PD Dr.-Ing. habil. A. Schlutow

Ahrensfelde, 1. April 2019

**Inhaltsverzeichnis:**

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b> .....	<b>3</b>
1.1	Veranlassung .....	3
1.2	Ziele .....	3
<b>2</b>	<b>Untersuchungsgebiet (UG)</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Datengrundlagen</b> .....	<b>7</b>
3.1	Abiotische Bestandteile der LRT.....	7
3.2	Biotische Bestandteile der LRT.....	10
3.3	Hintergrund-Depositionen im Untersuchungsgebiet.....	12
3.4	Erhaltungsziele .....	14
3.4.1	Rechtsverbindliche Vorgaben .....	14
3.4.2	Ableitung der Schutzgüter für die Bestimmung von Belastbarkeitsgrenzen.....	15
3.4.3	Management-Planung .....	19
<b>4</b>	<b>Critical Loads-Konzept</b> .....	<b>23</b>
4.1	Empirische Critical Loads .....	23
4.2	Das DECOMP-Modell zur Ermittlung von Critical Loads .....	24
4.2.1	Modellansatz und Grundannahmen .....	24
4.2.2	Mathematische Grundlagen des Modells .....	25
4.3	Das SMB-Modell zur Ermittlung von Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge .....	29
4.4	Das SMB-Modell zur Ermittlung von Critical Loads für versauernde Stoffeinträge .....	30
4.5	Das BERN-Modell als Datenbasis für die Ermittlung von vegetationspezifischen Eingangswerten für die Modellierung.....	31
4.5.1	Modellansatz und Datenbasis .....	31
4.5.2	Ableitung des kritischen C/N-Verhältnisses ( $CN_{crit(phyto)}$ ) und der kritischen Basensättigung ( $BS_{crit(phyto)}$ ) mit dem BERN4-Modell .....	32
4.6	Diskussion der Modelle und Schlussfolgerungen für die Anwendbarkeit auf die FFH-Verträglichkeitsprüfung.....	33
4.6.1	Gründe für die Wahl der Modelle zur Ermittlung von Critical Loads .....	33
4.6.2	Ungenauigkeiten der Modelle und der Eingangsdaten.....	34
<b>5.</b>	<b>Ermittlung der Eingangsdaten für die Critical Loads-Modellierung mittels Massenbilanz-Methode</b> .....	<b>35</b>
5.1	Denitrifikationsrate ( $N_{de}$ ) .....	35
5.2	Immobilisierungsrate ( $N_i$ ) .....	38
5.3	Aufnahmerate von Stickstoff ( $N_u$ ) und basischen Kationen ( $Bc_u$ ) in die Biomasse.....	40
5.4	Akzeptable N-Auswaschungsrate mit dem Sickerwasser ( $N_{le(acc)}$ ) .....	42
5.5	Freisetzungsrates basischer Kationen durch Verwitterung des Ausgangssubstrats.....	45
5.6	Deposition basischer Kationen und Chlorid-Ionen .....	50
5.7	Kritische Auswaschungsrate von Säureneutralisationskapazität $ANC_{le(crit)}$ .....	53
5.7.1	Modellansatz und Grundlagen .....	53
5.7.2	Auswaschungsrate von Hydrogenkarbonat.....	54
5.7.3	Kriterium 1: Schutz der Pflanzen vor Intoxikation ( $Bc/AI_{crit}$ ) .....	55
5.7.4	Kriterium 2: Erhaltung des bodentypischen pH-Wertes ( $pH_{crit}$ ) .....	57
5.7.5	Kriterium 3: Erhaltung der Boden-Stabilität ( $AI_{le(crit)}$ ) .....	62
5.7.6	Kriterium 4: Erhaltung einer vegetationspezifischen akzeptablen Basensättigung ( $BS_{crit(phyto)}$ ) .....	65
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der Einzelfallprüfung</b> .....	<b>69</b>
6.1	Aktuelle Regenerierungspotenziale der LRT-Flächen.....	69
6.2	Standortspezifisch modellierte Critical Loads.....	74
6.3	Vergleich und Diskussion der Ergebnisse.....	78
6.4	Überschreitungen der Critical Loads durch die Hintergrundbelastung 2013-2015.....	84
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>90</b>

# 1 Aufgabenstellung

## 1.1 Veranlassung

Die Firma Infracore GmbH & Co. Höchst KG betreibt im nördlichen Teil des Industrieparks Höchst ein Heizkraftwerk zur Versorgung der industriellen Kunden im Industriepark mit thermischer Energie (Dampf) und elektrischer Energie (Strom). Das Heizkraftwerk ist wärmegeführt, d.h. die benötigte Dampfmenge im Industriepark regelt die Leistung des Kraftwerks. Die gleichzeitige Erzeugung von Kraft (Stromgenerator) und Wärme (Dampf) bezeichnet man als Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), wodurch der Brennstoff maximal genutzt wird.

Es werden dazu bereits drei moderne hocheffiziente Gasturbinen und mehrere Dampfkessel betrieben, die mit Erdgas oder anderen Gasen, wie z.B. Wasserstoff, beheizt werden. Nachgeschaltete Dampfturbinen nutzen den erzeugten Hochdruckdampf zur Stromerzeugung. Der verbleibende Niederdruckdampf wird als Produktions- und Heizdampf im Industriepark genutzt.

Infracore Höchst beabsichtigt nun mit einer hoch effizienten KWK-Lösung (Kraft-Wärme-Kopplung) die Energieeffizienz weiter zu verbessern und die Stromerzeugung der Volatilität des Stromnetzes anzupassen. Dazu soll in unmittelbarer Nähe zum Kraftwerk D 580 der "*Gasturbinenneubau E 536*" entstehen, der aus zwei erdgasbefeuerten Gasturbinen mit jeweils bis zu ca. 350 MW Feuerungswärmeleistung (bis zu 120 MW elektrische Leistung) und zwei nachgeschalteten mit Erdgas nachfeuerbaren Abhitzedampferzeugern besteht. Der erzeugte Dampf wird über bestehende Dampfturbinen zur Stromerzeugung genutzt und anschließend in das bestehende Dampfnetz eingespeist.

Seit vielen Jahrzehnten werden zur Deckung des Dampfbedarfs auch zwei Dampfkessel überwiegend mit Steinkohle (Kohlekessel) befeuert. Nach Aufnahme des Dauerbetriebs des *Gasturbinenneubau E 536* kann der Dampfbedarf des Industrieparks vollständig durch moderne erdgasbetriebene Kraftwerkstechnik gedeckt werden, so dass die Kohlekessel außer Betrieb genommen werden. Das Projekt ist damit auch eine Maßnahme zur CO<sub>2</sub> Reduzierung.

## 1.2 Ziele

Für die FFH-Verträglichkeitsprüfung einer EBS-Verbrennungsanlage im Industriepark Höchst hatte die Autorin des vorliegenden Gutachtens bereits ein „Teilgutachten zur FFH-Verträglichkeit der Auswirkungen von eutrophierenden und versauernden Fremdstoffdepositionen der EBS-Verbrennungsanlage auf die Erhaltungsziele der geschützten FFH-Lebensraumtypen in den FFH-Gebieten „Kelsterbacher Wald“, „Schwanheimer Düne“ und „Schwanheimer Wald“ vorgelegt (ÖKO-DATA 2013). Das nunmehr in unmittelbarer Nähe zur EBS geplante Vorhaben hat Auswirkungen auf dieselben Flächen der genannten FFH-Gebiete. Das bereits vorliegende Gutachten von ÖKO-DATA (2013) enthält Critical Loads für den versauernden und den eutrophierenden Luftschadstoffeintrag für 50 Beurteilungspunkte (BP) in den o.g. Natura-2000-Gebieten. Diese 50 BP sind auch für das vorliegende Gutachten weiterhin relevant.

Folgende FFH-Lebensraumtypen (LRT) der FFH-Gebiete werden in diesem Gutachten betrachtet:

### ***Kelsterbacher Wald***

- 2310 Trockene Sandheiden mit *Calluna* und *Genista*,
- 2330 Dünen mit offenen Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis*,
- 9110 Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*),
- 9130 Waldmeister-Buchenwald (*Asperulo-Fagetum*),
- 9190 Alte bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen mit *Quercus robur*

### ***Schwanheimer Düne***

- 2330 Dünen mit offenen Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis*,
- 6510 Magere Flachland-Mähwiesen (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*),

### **Schwanheimer Wald**

- 6230 Artenreiche montane Borstgrasrasen (und submontan auf dem europäischen Festland) auf Silikatböden<sup>1</sup>
- 6510 Magere Flachland-Mähwiesen (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*),
- 9110 Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum),
- 9160 Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Eichen-Hainbuchenwald (*Carpinion betuli*),
- 9190 Alte bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen mit *Quercus robur*,
- 91E0 Auenwälder mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior* (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae).

Seit 2013 sind jedoch folgende Methodenfortschreibungen und Datenaktualisierungen zu berücksichtigen:

1. Die Methode zur Modellierung standortspezifischer Critical Loads basierte 2013 auf den international abgestimmten und anerkannten Grundlagen, wie sie im Manual des ICP Modelling and Mapping (CLRTAP 2004) dargestellt waren. Inzwischen ist das Manual 2014 und 2017 revidiert und aktualisiert worden. Insbesondere 2017 sind neue Erkenntnisse zu einer Reihe von Eingangsdaten für die Modellierung eingearbeitet worden (Bc/Al-Verhältnis, Denitrifikationsfaktoren, Verwitterungsrate, kritische N-Konzentration), die eine Neuberechnung der CL erfordern.
2. Gleichzeitig sind vom Umweltbundesamt aktualisierte Hintergrunddepositionen für die Jahre 2013-2015 veröffentlicht worden. Die aktuelle Deposition von basischen Kationen geht direkt in die Berechnung des CL für versauernde Einträge ein. Für die Berechnung der Überschreitungsraten der Critical Loads liegen nunmehr aktuelle Hintergrundwerte für Stickstoff- und Schwefelverbindungen vor.
3. 2018 wurde die Vegetationskartierung in den o.g. FFH-Gebieten aktualisiert, woraus sich die Notwendigkeit ergibt, die für die CL-Berechnung 2013 angenommenen Ziel-Pflanzengesellschaften zu überprüfen und ggf. zu aktualisieren.
4. 2016 hat die Bezirksregierung Darmstadt eine Verordnung über die Natura 2000-Gebiete in Kraft gesetzt, woraus sich ggf. Änderungen für die Schutzzielbestimmung ergeben.
5. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hat 2014 eine umfassend erweiterte Datenbank mit neuen Parametern für die Referenz-Bodenprofile Deutschlands veröffentlicht, die nunmehr bei der CL-Berechnung berücksichtigt werden.

Um dem Stand des Wissens bei der Ermittlung von Critical Loads zu entsprechen, ist daher eine Neuberechnung der Critical Loads für eutrophierende und versauernde Luftschadstoffeinträge an allen 50 Beurteilungspunkten auf der Grundlage aktuellster Methoden, Daten und rechtlichen Grundlagen erforderlich.

Das Ziel des vorliegenden Projektes ist somit:

1. Revision und Aktualisierung der im Gutachten von ÖKO-DATA vom 17.6.2013 vorliegenden Ermittlung von Belastbarkeitsgrenzen (Critical Loads) für versauernde und eutrophierende Luftschadstoffeinträge an 50 Beurteilungspunkten
2. Ermittlung der Überschreitungsraten der Critical Loads durch die Hintergrunddepositionen versauernder und eutrophierender Luftschadstoffeinträge im Mittel der Jahre 2013-2015.

---

<sup>1</sup> Der in der Grunddatenerfassung auf diesen Flächen ausgewiesene LRT 6210 (naturnahe Kalktrockenrasen) hat sich aktuell zu einem Borstgrasrasen auf saurem Standort entwickelt. In Absprache mit der Oberen Naturschutzbehörde wurde daher der FFH-LRT an die aktuelle und potenzielle Vegetation angepasst.

3. Aktualisierung des Berichtes unter Berücksichtigung des Standes des Wissens hinsichtlich aktuellster Methoden, Daten, rechtlichen Grundlagen und der aktuellen Rechtsprechung.

Für Gewässer-Lebensraumtypen in den betrachteten FFH-Gebieten werden hier keine Critical Loads modelliert. Die modellhafte Bestimmung von Critical Loads für submerse Vegetationsbestände ist zwar grundsätzlich möglich, aber nicht zielführend im Hinblick auf die Untersuchung möglicher Beeinträchtigungen durch geplante Vorhaben, deren eutrophierende und versauernde Emissionen in die Atmosphäre abgegeben werden.

## 2 Untersuchungsgebiet (UG)

In den zu betrachtenden FFH-Gebieten wurden als Grundlage für eine Modellierung von Critical Loads insgesamt 50 konkrete Beurteilungspunkte festgelegt. Diese Anzahl entspricht der Anzahl der vorkommenden verschiedenen Kombinationen aus LRT, Vegetationstyp und Bodenform. Somit sind alle relevanten Ausprägungsformen der LRT erfasst, für die sich jeweils spezifische Belastbarkeitsgrenzen für Stickstoff- und Schwefeleinträge (Critical Loads) differenzieren lassen.

Gleichzeitig wurden die Beurteilungspunkte so gelegt, dass sie am nächsten an der geplanten Emissionsquelle liegen und somit den worst case für alle Flächen derselben Ausprägungsform hinsichtlich der zu erwartenden Zusatzdeposition repräsentieren (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht über die Beurteilungspunkte in den NATURA 2000-Gebieten der Wirkungszone des Vorhabens

Beurteilungspunkt (BP)	LRT	FFH-Name	Gauß-Krüger-Koordinaten 3. Streifen	
			X_GZ3	Y_GZ3
1	2310	Kelsterbacher Wald	3465471	5546052
2	2330	Kelsterbacher Wald	3465373	5546119
3	2330	Kelsterbacher Wald	3465626	5546067
4	2330	Schwanheimer Düne	3468179	5549859
5	2330	Schwanheimer Düne	3468170	5549790
6	2330	Schwanheimer Düne	3468309	5550096
7	2330	Schwanheimer Düne	3468217	5549791
8	6230	Schwanheimer Wald	3469430	5549045
9	2330	Schwanheimer Düne	3468487	5550269
10	6510	Schwanheimer Düne	3468274	5549865
11	6510	Schwanheimer Düne	3468525	5550119
12	6510	Schwanheimer Düne	3468234	5549698
13	6510	Schwanheimer Wald	3469355	5549186
14	6510	Schwanheimer Wald	3469371	5549099
15	6510	Schwanheimer Wald	3469366	5549162
16	9110	Kelsterbacher Wald	3464759	5545873
19	9110	Kelsterbacher Wald	3463834	5544970
20	9110	Schwanheimer Wald	3468399	5546731
21	9110	Schwanheimer Wald	3469432	5548657
22	9110	Schwanheimer Wald	3471067	5549207
23	9110	Schwanheimer Wald	3468025	5548376
24	9110	Schwanheimer Wald	3468037	5548406
25	9130	Kelsterbacher Wald	3464702	5545893
26	9130	Kelsterbacher Wald	3464820	5546053
27	9130	Kelsterbacher Wald	3464781	5546050
28	9160	Schwanheimer Wald	3467502	5548790
29	9160	Schwanheimer Wald	3467462	5548728

Beurteilungspunkt (BP)	LRT	FFH-Name	Gauß-Krüger-Koordinaten 3. Streifen	
			X_GZ3	Y_GZ3
30	9160	Schwanheimer Wald	3467448	5548667
31	9160	Schwanheimer Wald	3467507	5548398
32	9160	Schwanheimer Wald	3470672	5549212
33	9160	Schwanheimer Wald	3467649	5548636
34	9160	Schwanheimer Wald	3467588	5548326
35	9160	Schwanheimer Wald	3467595	5548629
36	9160	Schwanheimer Wald	3467481	5548470
37	9110	Schwanheimer Wald	3467929	5548344
38	9160	Schwanheimer Wald	3467565	5548334
39	9160	Schwanheimer Wald	3467686	5548675
40	9190	Kelsterbacher Wald	3465039	5545739
41	9190	Kelsterbacher Wald	3464698	5545566
42	9190	Schwanheimer Wald	3467960	5546669
43	9190	Schwanheimer Wald	3468317	5546716
44	9190	Schwanheimer Wald	3470682	5548078
45	9190	Schwanheimer Wald	3470454	5549532
46	9190	Schwanheimer Wald	3469974	5549251
47	9190	Schwanheimer Wald	3469576	5548720
48	9190	Schwanheimer Wald	3468584	5548854
49	9190	Schwanheimer Wald	3468066	5548538
50	91E0	Schwanheimer Wald	3467915	5548722
51	9160	Schwanheimer Wald	3467906	5548655
52	91E0	Schwanheimer Wald	3467846	5548745

### 3 Datengrundlagen

#### 3.1 Abiotische Bestandteile der LRT

Vom Auftraggeber sind folgende Datengrundlagen digital bereitgestellt worden:

- Abgrenzung der FFH-Gebiete (Regierungspräsidium Darmstadt 2016)
- LRT-Flächen der FFH-Gebiete (Regierungspräsidium Darmstadt 2016)
- Bodenkarte 1:25 000 mit Legenden
- Analyse bodenchemischer Parameter – siehe Kap. 6.1 (Feldwisch (2013))

Das langjährige Mittel der Lufttemperatur beträgt 10,5 - 10,7° C (Deutscher Wetterdienst (DWD) 2011a). Die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme beträgt 623 - 675 mm a<sup>-1</sup> (Deutscher Wetterdienst (DWD) 2011b).

Die Bodenform nach Bk 25 beschreibt in der Legende sowohl den Bodentyp als auch die Substratschichtung und das Muttergestein sowie den Hydromorphietyp, mithin die Bodenform (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Bodenformen an den Beurteilungspunkten (BP) der LRT-Flächen (Bk 25)

BP	LRT	FFH-Name	Bodenform Bk 25
1	2310	Kelsterbacher Wald	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)
2	2330	Kelsterbacher Wald	Braunerde mit Auftrag von 5 cm Mulch aus abgeschälten Sandmagerrasen-Soden
3	2330	Kelsterbacher Wald	Braunerde mit Auftrag von 5 cm Mulch aus abgeschälten Sandmagerrasen-Soden
4	2330	Schwanheimer Düne	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)
5	2330	Schwanheimer Düne	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)
6	2330	Schwanheimer Düne	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)
7	2330	Schwanheimer Düne	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)
8	6230	Schwanheimer Wald	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)(Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)
9	2330	Schwanheimer Düne	Braunerde; erodiert;
10	6510	Schwanheimer Düne	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)
11	6510	Schwanheimer Düne	Braunerde; erodiert;
12	6510	Schwanheimer Düne	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)
13	6510	Schwanheimer Wald	Gley oder Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment über 50-90 cm Altem Hochflutlehm bis -ton über Terrassensand (qp)

BP	LRT	FFH-Name	Bodenform Bk 25
14	6510	Schwanheimer Wald	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)
15	6510	Schwanheimer Wald	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)
16	9110	Kelsterbacher Wald	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)
19	9110	Kelsterbacher Wald	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)
20	9110	Schwanheimer Wald	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)
21	9110	Schwanheimer Wald	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)
22	9110	Schwanheimer Wald	Gley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)
23	9110	Schwanheimer Wald	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)
24	9110	Schwanheimer Wald	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)
25	9130	Kelsterbacher Wald	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)
26	9130	Kelsterbacher Wald	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)
27	9130	Kelsterbacher Wald	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)
28	9160	Schwanheimer Wald	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)
29	9160	Schwanheimer Wald	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)
30	9160	Schwanheimer Wald	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)
31	9160	Schwanheimer Wald	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)
32	9160	Schwanheimer Wald	Gley-Braunerde, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)
33	9160	Schwanheimer Wald	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)

BP	LRT	FFH-Name	Bodenform Bk 25
34	9160	Schwanheimer Wald	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment (qp) oder Hochflutlehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm bis -ton, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)
35	9160	Schwanheimer Wald	Pseudogley; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)
36	9160	Schwanheimer Wald	Gley; >120 cm Lehm bis Ton der Bach- und Altläufe ( qp- qh)
37	9110	Schwanheimer Wald	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über 40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)
38	9160	Schwanheimer Wald	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)
39	9160	Schwanheimer Wald	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)
40	9190	Kelsterbacher Wald	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bau-schutt (qh)
41	9190	Kelsterbacher Wald	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)
42	9190	Schwanheimer Wald	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)
43	9190	Schwanheimer Wald	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)
44	9190	Schwanheimer Wald	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <50cm äolischem und fluviatilem Sand, über teilweise carbonathaltigem Älterem Hochflutsand bis Lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)
45	9190	Schwanheimer Wald	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)
46	9190	Schwanheimer Wald	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment ( Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)
47	9190	Schwanheimer Wald	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)
48	9190	Schwanheimer Wald	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)
49	9190	Schwanheimer Wald	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)
50	91E0	Schwanheimer Wald	Anmoorgley; 60-120 cm Altlauf-ton ( qp- qh) über Terrassensand (qp)

BP	LRT	FFH-Name	Bodenform Bk 25
51	9160	Schwanheimer Wald	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)
52	91E0	Schwanheimer Wald	Anmoorgley; 60-120 cm Altlaufion ( qp- qh) über Terrassensand (qp)

### 3.2 Biotische Bestandteile der LRT

Als Grundlage für die Ermittlung der Vegetation diente die

- Flächendeckende Biooptypenkartierung der FFH-Gebiete
- Vegetationskartierung an den 50 Beurteilungspunkten (PGNU 2018)
- „Grunddatenerfassung für das FFH-Gebiet Nr. 5917-303 Kelsterbacher Wald.“ (Goebel et al. (2004)), einschließlich Monitoring für Dauerbeobachtungsfläche 4 (= BP 9) (ebenda)
- „Grunddatenerfassung für Monitoring und Management im FFH-Gebiet 5917-301 Schwanheimer Düne.“ (Lenker et al. (2003)).
- „Grunddatenerhebung für Monitoring und Management im FFH-Gebiet Nr 5917-305 Schwanheimer Wald.“ (Wagner (2004)).

Aus diesen Unterlagen ergeben sich folgende Biooptypen und aktuelle Vegetationstypen (vgl. Tab. 3).

Tab. 3: Vegetation der LRT-Flächen in den FFH-Gebieten (PGNU 2018)

BP	LRT	FFH-Name	Biotyp	aktuelle Vegetation (nachrichtlich aus PGNU 2018)
1	2310	Kelsterbacher Wald	Zwergstrauch-Heiden	Calluna vulgaris-Deschampsia flexuosa-Gesellschaft
2	2330	Kelsterbacher Wald	Zwergstrauch-Heiden	gestörte Arrhenatheretalia-Basal-Gesellschaft (Rotschwengel-Rotstraußgrasrasen)
3	2330	Kelsterbacher Wald	Sandtrockenrasen	Borstgrasrasen (Nardetalia-Basal-Gesellschaft)
4	2330	Schwanheimer Düne	Sandtrockenrasen	Silbergras-Rasen (Corynephorretalia canescentis)
5	2330	Schwanheimer Düne	Sandtrockenrasen	Agrostis vinealis-Gesellschaft (Sedo-Scleranthetea-Basal-Gesellschaft)
6	2330	Schwanheimer Düne	Sandtrockenrasen	Sedo-Scleranthetea-Gesellschaft (Sandtrockenrasen)
7	2330	Schwanheimer Düne	Sandtrockenrasen	Arrhenatheretalia-Basalgesellschaft
8	6230	Schwanheimer Wald	Magerrasen saurer Standorte	Nardetalia-Basalgesellschaft
9	2330	Schwanheimer Düne	Sandtrockenrasen	Silbergrasrasen (Corynephorion canescentis)
10	6510	Schwanheimer Düne	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Arrhenatheretum elatioris (Glatthaferwiese), Ausbildung mit Arten der Sandrasen
11	6510	Schwanheimer Düne	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Dauco-Arrhenatheretum elatioris
12	6510	Schwanheimer Düne	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Glatthaferwiese (Arrhenatheretum elatioris)

BP	LRT	FFH-Name	Biotoptyp	aktuelle Vegetation (nachrichtlich aus PGNU 2018)
13	6510	Schwanheimer Wald	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Glatthaferwiese (Arrhenatheretum elatioris)
14	6510	Schwanheimer Wald	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Festuca rubra-Agrostis tenuis-Gesellschaft
15	6510	Schwanheimer Wald	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Festuca rubra-Agrostis tenuis-Gesellschaft
16	9110	Kelsterbacher Wald	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum (typicum)
19	9110	Kelsterbacher Wald	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum
20	9110	Schwanheimer Wald	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum
21	9110	Schwanheimer Wald	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum
22	9110	Schwanheimer Wald	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum
23	9110	Schwanheimer Wald	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum
24	9110	Schwanheimer Wald	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum, farnreiche Ausbildung
25	9130	Kelsterbacher Wald	Buchenwälder mittlerer und basenreicher Standorte	Fagetalia-Basalgesellschaft
26	9130	Kelsterbacher Wald	Buchenwälder mittlerer und basenreicher Standorte	Fagetalia-Basalgesellschaft
27	9130	Kelsterbacher Wald	Buchenwälder mittlerer und basenreicher Standorte	Fagetalia-Basalgesellschaft
28	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario-Carpinetum (Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald)
29	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario-Carpinetum (Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald)
30	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario-Carpinetum (Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald)
31	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario-Carpinetum (Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald)
32	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Carpinion-Basalgesellschaft
33	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario-Carpinetum
34	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Fagetalia-Basalgesellschaft
35	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Carpinion-Basalgesellschaft
36	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario-Carpinetum (Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald)
37	9110	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Luzulo-Fagetum (Hainsimsen-Buchenwald)
38	9160	Schwanheimer	Sonstige Eichen-	Fagetalia-Basal-Gesellschaft (Eschen-

BP	LRT	FFH-Name	Biotoptyp	aktuelle Vegetation (nachrichtlich aus PGNU 2018)
		Wald	Hainbuchenwälder	Ahornwald)
39	9160	Schwanheimer Wald	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario-Carpinetum (Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald)
40	9190	Kelsterbacher Wald	Eichenwälder	Betulo pendulae-Quercetum roboris (Birken-Stieleichenwald)
41	9190	Kelsterbacher Wald	Eichenwälder	Betulo pendulae-Quercetum roboris (Birken-Stieleichenwald)
42	9190	Schwanheimer Wald	Eichenwälder	Betulo pendulae-Quercetum roboris (Birken-Stieleichenwald)
43	9190	Schwanheimer Wald	Eichenwälder	Quercetalia-roboris-Basalgesellschaft
44	9190	Schwanheimer Wald	Eichenwälder	Quercetalia roboris-Basalgesellschaft
45	9190	Schwanheimer Wald	Eichenwälder	Carpinion-Basalgesellschaft
46	9190	Schwanheimer Wald	Eichenwälder	Fagetalia-Basalgesellschaft
47	9190	Schwanheimer Wald	Eichenwälder	Betulo-Quercetum petraeae
48	9190	Schwanheimer Wald	Eichenwälder	Betulo pendulae-Quercetum roboris (Birken-Stieleichenwald)
49	9190	Schwanheimer Wald	Eichenwälder	Fagetalia-Basalgesellschaft
50	91E0	Schwanheimer Wald	Bachauenwälder	Alno-Ulmion-Basalgesellschaft
51	9160	Schwanheimer Wald	Bachauenwälder	Querco-Fagetea-Ges. (Eichen-Ahornwald)
52	91E0	Schwanheimer Wald	Bachauenwälder	Carici remotae-Fraxinetum (Winkelseggen-Erlen-Eschenwald)

### 3.3 Hintergrund-Depositionen im Untersuchungsgebiet

Die deutschlandweite Erfassung von Luftschadstoff-Depositionen (UBA 2018) enthält Daten für den nassen und trockenen sowie okkulten Eintrag von oxidiertem Stickstoff (NO<sub>x</sub>), oxidierten Schwefelverbindungen (SO<sub>x</sub>) und reduziertem Stickstoff (NH<sub>y</sub>) im Raster von 1 x 1 km im Mittel der Jahre 2013-2015<sup>2</sup>. Daraus ergeben sich die Summen der Hintergrund-Depositionen zusammengefasst im Untersuchungsgebiet wie folgt (vgl. Tab. 4). Die LRT-Polygone wurden mit dem Raster der Deposition für den jeweils entsprechenden Landnutzungstyp verschnitten. Enthält eine LRT-Fläche mehrere Rastergrids, wurde der jeweils höchste Depositionswert ermittelt, der in der LRT-Fläche liegt bzw. dessen Raster in die LRT-Fläche hineinragt. Ausführliche Erläuterungen zu den methodischen Grundlagen bei der Ableitung dieser Daten sind vom UBA veröffentlicht.<sup>3</sup>

Tab. 4: Hintergrunddepositionen Mittelwert aus 2013-2015 (UBA 2018)

BP	LRT	Landnutzungstyp	N-Vorbelastung 2013-2015		S-Vorbelastung 2013-2015	
			[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
1	2310	Natürliche Vegetation	11,4	816	2,32	145
2	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	10,6	755	1,68	105

<sup>2</sup> <http://gis.uba.de/website/depo1/>

<sup>3</sup> [http://gis.uba.de/website/depo1/download/Erlaeuterungen\\_DepoKartendienst\\_UBA.pdf](http://gis.uba.de/website/depo1/download/Erlaeuterungen_DepoKartendienst_UBA.pdf)

BP	LRT	Landnutzungstyp	N-Vorbelastung 2013-2015		S-Vorbelastung 2013-2015	
			[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
3	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	10,6	755	1,68	105
4	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	9,7	692	1,65	103
5	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	9,7	692	1,65	103
6	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	9,7	692	1,65	103
7	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	9,7	692	1,65	103
8	6230	Wiesen/Weiden	10,7	764	2,35	147
9	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	10,6	755	1,68	105
10	6510	Wiesen/Weiden	10,2	728	2,27	142
11	6510	Wiesen/Weiden	10,3	737	2,30	144
12	6510	Wiesen/Weiden	10,2	728	2,27	142
13	6510	Wiesen/Weiden	10,7	764	2,35	147
14	6510	Wiesen/Weiden	10,7	764	2,35	147
15	6510	Wiesen/Weiden	10,7	764	2,35	147
16	9110	Laubwald	15,0	1070	2,85	178
19	9110	Laubwald	14,8	1056	2,75	172
20	9110	Laubwald	15,5	1109	2,96	185
21	9110	Laubwald	14,9	1061	3,01	188
22	9110	Laubwald	14,8	1054	2,99	187
23	9110	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
24	9110	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
25	9130	Laubwald	15,0	1070	2,85	178
26	9130	Laubwald	15,0	1070	2,85	178
27	9130	Laubwald	15,0	1070	2,85	178
28	9160	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
29	9160	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
30	9160	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
31	9160	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
32	9160	Laubwald	14,8	1054	2,99	187
33	9160	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
34	9160	Laubwald	15,1	1080	2,98	186
35	9160	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
36	9160	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
37	9110	Laubwald	15,1	1080	2,98	186
38	9160	Laubwald	15,1	1080	2,98	186
39	9160	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
40	9190	Laubwald	15,0	1070	2,85	178
41	9190	Laubwald	15,0	1070	2,85	178
42	9190	Laubwald	15,3	1096	2,93	183
43	9190	Laubwald	15,3	1096	2,93	183
44	9190	Laubwald	15,0	1074	2,99	187
45	9190	Laubwald	14,4	1026	2,98	186
46	9190	Laubwald	14,4	1026	2,98	186
47	9190	Laubwald	14,9	1061	3,01	188

BP	LRT	Landnutzungstyp	N-Vorbelastung 2013-2015		S-Vorbelastung 2013-2015	
			[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
48	9190	Laubwald	14,9	1061	3,01	188
49	9190	Laubwald	14,9	1061	3,01	188
50	91E0	Laubwald	14,9	1068	3,01	188
51	9160	Laubwald	14,8	1054	2,96	185
52	91E0	Laubwald	14,8	1054	2,96	185

### 3.4 Erhaltungsziele

#### 3.4.1 Rechtsverbindliche Vorgaben

##### **FFH-Gebiet DE 5917-301 „Schwanheimer Düne“**

Die Verordnung über die Natura 2000-Gebiete im Regierungsbezirk Darmstadt vom 20. Oktober 2016 benennt für das FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“ folgende Erhaltungsziele:

2330 Dünen mit offenen Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis*

- Erhaltung des Offenlandcharakters der Standorte,
- Erhaltung einer bestandsprägenden, die Nährstoffarmut begünstigenden Bewirtschaftung.

6510 Magere Flachland-Mähwiesen (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*)

- Erhaltung eines für den LRT günstigen Nährstoffhaushaltes,
- Erhaltung einer bestandsprägenden Bewirtschaftung.

##### **FFH-Gebiet DE 5917-303 „Kelsterbacher Wald“**

Die Verordnung über die Natura 2000-Gebiete im Regierungsbezirk Darmstadt vom 20. Oktober 2016 benennt für das FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“ folgende Erhaltungsziele

2310 Trockene Sandheiden mit *Calluna* und *Genista*

- Erhaltung des Offenlandcharakters der Standorte,
- Erhaltung einer bestandsprägenden, die Nährstoffarmut begünstigenden Bewirtschaftung.

9110 Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum)

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen.

9130 Waldmeister-Buchenwald (Asperulo-Fagetum)

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen.

9190 Alte bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen mit *Quercus robur*

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen.

##### **FFH-Gebiet DE 5917-305 „Schwanheimer Wald“**

Die Verordnung über die Natura 2000-Gebiete im Regierungsbezirk Darmstadt vom 20. Oktober 2016 benennt für das FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“ folgende Erhaltungsziele:

**6510 Magere Flachland-Mähwiesen (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*)**

- Erhaltung eines für den LRT günstigen Nährstoffhaushaltes
- Erhaltung einer bestandsprägenden Bewirtschaftung

**9110 Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*)**

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen

**9190 Alte bodensaure Eichenwälder auf Sandebenen mit *Quercus robur***

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen

**9160 Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Eichen-Hainbuchenwald (*Carpinion betuli*)**

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen
- Erhaltung eines bestandsprägenden Grundwasserhaushalts

**\*91E0 Auenwälder mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*)**

- Erhaltung naturnaher und strukturreicher Bestände mit stehendem und liegendem Totholz, Höhlenbäumen und lebensraumtypischen Baumarten mit einem einzelbaum- oder gruppenweisen Mosaik verschiedener Entwicklungsstufen und Altersphasen

**3.4.2 Ableitung der Schutzgüter für die Bestimmung von Belastbarkeitsgrenzen**

Erhaltungsziel ist in allen LRT die nachhaltige Sicherung eines günstigen Erhaltungszustandes. Nach BfN (Ssymank et al. 1998) wird der Erhaltungszustand eines Lebensraumtyps als günstig angesehen, wenn u. a. folgende Bedingungen erfüllt sind:

- die für den langfristigen Fortbestand notwendigen Strukturen und spezifischen Funktionen eines Lebensraumtyps sind dauerhaft gesichert
- der Erhaltungszustand der charakteristischen Arten eines Lebensraumtyps ist günstig

Diese Kriterien lassen sich nur erfüllen, wenn eine naturnahe Vegetationsgesellschaft entwickelt wird, die unter den aktuellen bzw. angestrebten Standort- und Nutzungsbedingungen (siehe Erhaltungsziele – Kap. 3.4.1) die besten Existenzmöglichkeiten hat, damit verbunden hohe Konkurrenzstabilität der Arten untereinander sowie volle Vitalität als Voraussetzung für das Selbstregenerationspotenzial.

In jedem Fall ist es notwendig, eine Indikatorgesellschaft anzugeben, die einen günstigen Erhaltungszustand bezüglich Standortfaktoren und Vegetation widerspiegelt. Also musste ausgehend von der aktuellen Vegetation die naturnahe Gesellschaft gesucht werden (mittels BERN-Modell: Schlutow et al. 2018), die auf dem Standort ihr Optimum ausprägen kann und gleichzeitig der aktuellen Vegetation am ähnlichsten ist, d. h. sich selbst aus dem vorhandenen Genpotenzial entwickeln kann (vgl. Kap. 3.2).

Die Vegetationskartierungen (Neckermann & Achterholt 2012, PNGU 2018) ergaben jedoch, dass an den BP 45, 46 und 51 die aktuelle Vegetation nicht dem kartierten LRT entspricht und auch aufgrund der aktuellen Baumartenzusammensetzung keine Entwicklung zu einer LRT-entsprechenden Zielgesellschaft möglich ist, es sei denn man nimmt eine Umforstung vor. Des-

halb wird für diese Beurteilungspunkte jeweils eine LRT-gerechte Zielgesellschaft sowie eine realistische naturnahe Zielgesellschaft betrachtet.

Für folgende Zielgesellschaften wird nun der Critical Load berechnet (Tab. 5).

Tab. 5: Entwicklungsziel der Vegetation an den Beurteilungspunkten zur Erhaltung/Herstellung eines günstigen Erhaltungszustandes

BP	FFH-LRT	Biotoptyp	Zielgesellschaft
1	2310	Zwergstrauch-Heiden	Genisto pilosae-Callunetum OBERD. 1938
2	2330	Sandtrockenrasen	Airo caryophylleae-Festucetum ovinae TX. 1955
3	2330	Sandtrockenrasen	Airo caryophylleae-Festucetum ovinae TX. 1955
4	2330	Sandtrockenrasen	Spergulo-Corynephorum canescentis (typ. Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933
5	2330	Sandtrockenrasen	Agrostietum coarctatae KOBENDZA 1930 (= Agrostietum vinealis KOB. 1930)
6	2330	Sandtrockenrasen	Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933
7	2330	Sandtrockenrasen	Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933
8	6230	Magerrasen saurer Standorte	Polygalo-Nardetum strictae (PRSG. 1953) OBERD. 1957
9	2330	Sandtrockenrasen	Spergulo-Corynephorum canescentis (Cladonia-Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933
10	6510	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919
11	6510	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919
12	6510	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919
13	6510	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919
14	6510	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919
15	6510	Grünland frischer Standorte, extensiv genutzt	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919
16	9110	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937
19	9110	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937
20	9110	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937
21	9110	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937
22	9110	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937
23	9110	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937
24	9110	Bodensaure Buchenwälder	Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrum filix-femina-Subass.) MEUSEL 1937
25	9130	Buchenwälder mittlerer und basenreicher Standorte	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) SOUGNEZ et THILL 1959
26	9130	Buchenwälder mittlerer und basenreicher Standorte	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) SOUGNEZ et THILL 1959

BP	FFH-LRT	Biotoptyp	Zielgesellschaft
27	9130	Buchenwälder mittlerer und basenreicher Standorte	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) SOUGNEZ et THILL 1959
28	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
29	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
30	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
31	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
32	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
33	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
34	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
35	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
36	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
37	9110	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrium filix-femina-Subass.) MEUSEL 1937
38	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
39	9160	Sonstige Eichen-Hainbuchenwälder	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
40	9190	Eichenwälder	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937
41	9190	Eichenwälder	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937
42	9190	Eichenwälder	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937
43	9190	Eichenwälder	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937
44	9190	Eichenwälder	Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958
45a	9190 <sup>1</sup>	Eichenwälder	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959
45b	9190 <sup>2</sup>	Eichenwälder	Querco roboris-Carpinetum betuli TX. 1937 (typ. Subass.)
46a	9190 <sup>1</sup>	Eichenwälder	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959
46b	9190 <sup>2</sup>	Eichenwälder	Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967
47	9190	Eichenwälder	Betulo-Quercetum petraeae (Molinia-Subass.) TX. 1937
48	9190	Eichenwälder	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959
49	9190	Eichenwälder	Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958
50	91E0	Bachauenwälder	Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957
51a	9160 <sup>1</sup>	Bachauenwälder <sup>3</sup>	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959
51b	9160 <sup>2</sup>	Bachauenwälder <sup>3</sup>	Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958
52	91E0	Bachauenwälder	Carici remotae-Fraxinetum excelsi W. KOCH 1926 ex FAB. 1936

<sup>1</sup> Zielgesellschaft entsprechend LRT und GDE, nur durch Umforstung erreichbar

<sup>2</sup> realistische Zielgesellschaft, durch naturnahe Entwicklung des aktuellen Bestandes erreichbar

<sup>3</sup> Die Vegetationskartierungen (Neckermann & Achterholt 2012, PGNU 2018) ergaben, dass die Biotopkartierung als Bachauenwald hier nicht zutreffend ist. Es handelt sich vielmehr um einen Hainbuchenwald.

Gleichzeitig sind aber auch die besonders schutzbedürftigen Arten zu berücksichtigen, die in der Region vorkommen und am Beurteilungspunkt sowohl standörtliche als auch soziologische Existenzpotenziale vorfinden (vgl. GDE der FFH-Gebiete). Die Empfindlichkeit dieser regional spezifischen Zielarten wird nun verglichen mit der empfindlichsten charakteristischen Art der Zielgesellschaft. Sind die N-Zahlen nach Ellenberg (2001) dieser Art niedriger oder gleich bzw. die R-Zahlen höher oder gleich der regionalspezifischen wertgebenden Arten des LRT, dann sind mit dem ermittelten Critical Load gleichzeitig alle anderen gesellschaftscharakteristischen und regionalen Zielarten geschützt (vgl. Tab. 6).

Tab. 6: Ausgewertete Stetigkeitstabellen der Ziel-Pflanzengesellschaften sowie die jeweils empfindlichste charakteristische Art (hochstete und/oder Charakterart bzw. Zielart aus der GDE), die bei der CL-Berechnung berücksichtigt wird

Zielgesellschaft	Stetigkeitstabellen in:	Berücksichtigte empfindlichste Art
Genisto pilosae-Callunetum OBERD. 1938	Oberdorfer (1993) Teil II, Tab. 121/12c (auch Tüxen (1937) S. 117)	<i>Calluna vulgaris</i>
Airo caryophylleae- Festucetum ovinae TX. 1955	Oberdorfer (1993) Teil II, Tab. 78/2b/1	<i>Teesdalia nudicaulis</i>
Spergulo-Corynephorum canescentis (typ. Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	Tüxen (1937) S. 55 (auch Passarge (1964) Tab. 79e-f; Oberdorfer (1993) Teil II, Tab. 79/5a/1-2; Tab. 79/5b/1-2)	<i>Teesdalia nudicaulis</i>
Spergulo-Corynephorum canescentis (Cladonia- Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	Tüxen (1937) S. 56 (auch Passarge (1964) Tab. 79c-d; Oberdorfer (1993) Teil II, Tab. 79/5a/3-4; Tab. 79/5b/3-5)	<i>Cladonia mitis</i>
Agrostietum coarctatae KOBENDZA 1930	Schubert et al. (1995) S. 262	<i>Teesdalia nudicaulis</i>
Agrostidetum tenuis HUECK 1931	Oberdorfer (1993) Teil II, Tab. 103/12a-b (auch Passarge (1964) Tab. 82g)	<i>Festuca ovina ssp. ovina</i>
Polygalo-Nardetum strictae (PRSG. 1953) OBERD. 1957	Oberdorfer (1993) Teil II, Tab. 117/9a- e (auch Ellenberg (1996) S. 723 Tab. 123/1)	<i>Nardus stricta</i>
Dauco-Arrhenatheretum ela- tioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Passarge (1964) Tab. 66e-i (auch Oberdorfer (1993) Teil III, Tab. 235/1a, Tüxen (1937) S. 105)	<i>Daucus carota</i>
Dauco-Arrhenatheretum (Alo- pecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Passarge (1964) Tab. 66d (auch Oberdorfer (1993) Teil III, Tab. 235/1b, Tüxen (1937) S. 104)	<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>
Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Oberdorfer (1992) Teil IV, Tab. 325/3 (auch Tüxen (1937) S. 144)	<i>Maianthemum bifoli- um</i>
Luzulo-Fagetum (Carex bri- zoides-Subass.) MEUSEL 1937	Oberdorfer (1992) Teil IV, Tab. 325/5	<i>Maianthemum bifoli- um</i>
Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrium filix-femina- Subass.) MEUSEL 1937	Oberdorfer (1992) Teil IV, Tab. 325/6	<i>Maianthemum bifoli- um</i>
Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Passarge & Hofmann (1968) Tab. 15a (auch Härtle et al. 2004 Tab. 16/2-13; Schmidt et al. (2002) 1.1.1, Tab. 2/1/3.1; Oberdorfer (1992) Teil IV, Tab. 331/2; Willner (2002) Tab 6/9-11)	<i>Galium odoratum</i>

Zielgesellschaft	Stetigkeitstabellen in:	Berücksichtigte empfindlichste Art
Stellario holosteaee-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Hartmann & Jahn (1967) Tab. IXa/23-24 (auch Passarge & Hofmann (1968) Tab. 22a; Schmidt et al. (2002) 3.1.1, Tab. 2/3/2.1; Runge (1994) S. 282; Tüxen (1937) S.153; Th. Müller (1990) Tab. 2)	<i>Lonicera periclymenum</i>
Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Tüxen (1937) S. 129 (auch Oberdorfer (1992) Teil IV, Tab. 291/2b1)	<i>Calluna vulgaris</i>
Fago-Quercetum (typ. Sub-ass) LOHM. et TÜXEN 1958	Oberdorfer (1992) Teil IV, Tab. 287/1	<i>Melampyrum pratense</i>
Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	Passarge & Hofmann (1968) Tab. 32de (auch Schmidt et al. (2002) 5.2.1, Tab. 2/4/2.4; Tüxen (1937) S. 128 unten)	<i>Holcus mollis</i>
Betulo-Quercetum petraeae (Molinia-Subass.) TÜXEN 1937	Tüxen (1937) S. 131	<i>Holcus mollis</i>
Stellario-Alnetum (typ. Sub-ass.) LOHMEYER 1957	Oberdorfer (1992) Teil IV, Tab. 305/5A (auch Passarge & Hofmann (1968) Tab. 39 g-i; Schmidt et al. (2002) 8.1.1, Tab. 2/7/3.2)	<i>Stellaria nemorum</i>
Querco roboris-Carpinetum betuli TX. 1937 (typ. Subass.)	Tüxen (1937) S. 153	<i>Milium effusum</i>
Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	Hartmann u. Jahn (1967) Tab. VIIc/1-3	<i>Brachythecium rutabulum</i>

### 3.4.3 Management-Planung

Um die Zielgesellschaften zu erhalten bzw. zu entwickeln, sind Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen erforderlich, deren Intensität und zeitliche Abfolge Eingang finden in die Critical-Loads-Ermittlung (Tab. 7). Die Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen sind abgestimmt mit Frau Ohl und Herrn Ernst (Regierungspräsidium Darmstadt, Dezernat Natuschutz).

Tab. 7: Nutzungsart und Intensität, die bei der CL-Berechnung berücksichtigt wird

BP	LRT	FFH-Name	Nutzungsart/Intensität mit Quellenverweis (vgl. Anmerkung unterhalb der Tabelle)
1	2310	Kelsterbacher Wald	3) extensive Beweidung mit Schafen und Ziegen sowie Entbuschung alle 10 Jahre (mittlere Intensität erforderlich zur Entwicklung der Zielgesellschaft)
2	2330	Kelsterbacher Wald	3) extensive Beweidung mit Schafen und Ziegen sowie Entbuschung alle 10 Jahre (mittlere Intensität erforderlich zur Entwicklung der Zielgesellschaft)
3	2330	Kelsterbacher Wald	3) extensive Beweidung mit Schafen und Ziegen sowie Entbuschung alle 10 Jahre (mittlere Intensität erforderlich zur Entwicklung der Zielgesellschaft)
4	2330	Schwanheimer Düne	1) Beweidung mit Schafen/Nachmahd (mittlere Intensität erforderlich zur Entwicklung der Zielgesellschaft)
5	2330	Schwanheimer Düne	1) Beweidung mit Schafen/Nachmahd (mittlere Intensität erforderlich zur Entwicklung der Zielgesellschaft)
6	2330	Schwanheimer Düne	1) Beweidung mit Schafen/Nachmahd (mittlere Intensität erforderlich zur Entwicklung der Zielgesellschaft)

BP	LRT	FFH-Name	Nutzungsart/Intensität mit Quellenverweis (vgl. Anmerkung unterhalb der Tabelle)
7	2330	Schwanheimer Düne	1) Beweidung mit Schafen/Nachmahd (mittlere Intensität erforderlich zur Entwicklung der Zielgesellschaft)
8	6230	Schwanheimer Wald	2) Nutzung als Mähweide ab 15.04., Beweidung mit Schafen
9	2330	Schwanheimer Düne	1) Förderung der Flechten der Familie Cladonia durch Beseitigen aufkommender Besiedlung durch nicht erwünschte Baum- und Straucharten
10	6510	Schwanheimer Düne	1) Offenhalten der Grünlandflächen durch Beweiden mit Schafen und mindestens einmal Nachmahd
11	6510	Schwanheimer Düne	1) Offenhalten der Grünlandflächen durch Beweiden mit Schafen und mindestens einmal Nachmahd
12	6510	Schwanheimer Düne	1) Offenhalten der Grünlandflächen durch Beweiden mit Schafen und mindestens einmal Nachmahd
13	6510	Schwanheimer Wald	2) Nutzung als Mähweide mit Nachbeweidung
14	6510	Schwanheimer Wald	2) Nutzung als Mähweide mit Nachbeweidung
15	6510	Schwanheimer Wald	2) Nutzung als Mähweide mit Nachbeweidung
16	9110	Kelsterbacher Wald	3) Einzelstammentnahme zur Erhaltung bzw. Entwicklung naturnaher und strukturreicher Bestände mit lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen (d. h. Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)
19	9110	Kelsterbacher Wald	3) Einzelstammentnahme zur Erhaltung bzw. Entwicklung naturnaher und strukturreicher Bestände mit lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen (d. h. Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)
20	9110	Schwanheimer Wald	2) Waldpflegemaßnahmen, Durchforstung REi, Kulturpflege; Streckung der Nutzung in mittelalten und alten Buchenbeständen, ev. Verjüngung der Buche (d.h. Einzelstammentnahme zur Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)
21	9110	Schwanheimer Wald	2) Durchforstung REi; Streckung der Nutzung in mittelalten und alten Buchenbeständen, ev. Verjüngung der Buche (d.h. Einzelstammentnahme zur Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)
22	9110	Schwanheimer Wald	2) Streckung der Nutzung in mittelalten und alten Buchenbeständen, ev. Verjüngung der Buche (d.h. Einzelstammentnahme zur Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)
23	9110	Schwanheimer Wald	2) Waldpflegemaßnahmen, Kulturpflege (d.h. Einzelstammentnahme zur Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)
24	9110	Schwanheimer Wald	2) Waldpflegemaßnahmen, Durchforstung REi, Kulturpflege (d.h. Einzelstammentnahme zur Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)
25	9130	Kelsterbacher Wald	3) Einzelstammentnahme zur Erhaltung bzw. Entwicklung naturnaher und strukturreicher Bestände mit lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen (d. h. Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)

BP	LRT	FFH-Name	Nutzungsart/Intensität mit Quellenverweis (vgl. Anmerkung unterhalb der Tabelle)
26	9130	Kelsterbacher Wald	3) Einzelstammentnahme zur Erhaltung bzw. Entwicklung naturnaher und strukturreicher Bestände mit lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen (d. h. Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)
27	9130	Kelsterbacher Wald	3) Einzelstammentnahme zur Erhaltung bzw. Entwicklung naturnaher und strukturreicher Bestände mit lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen (d. h. Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
28	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
29	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
30	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
31	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
32	9160	Schwanheimer Wald	2) Waldpflegemaßnahmen (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
33	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
34	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
35	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
36	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
37	9110	Schwanheimer Wald	3) Waldpflegemaßnahmen, Kulturpflege (d.h. Einzelstammentnahme zur Regulierung des Kronenschlussgrades auf 0,8)
38	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)

BP	LRT	FFH-Name	Nutzungsart/Intensität mit Quellenverweis (vgl. Anmerkung unterhalb der Tabelle)
39	9160	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
40	9190	Kelsterbacher Wald	3) Einzelstammentnahme zur Erhaltung bzw. Entwicklung naturnaher und strukturreicher Bestände mit lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen (d. h. Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
41	9190	Kelsterbacher Wald	3) Einzelstammentnahme zur Erhaltung bzw. Entwicklung naturnaher und strukturreicher Bestände mit lebensraumtypischen Baumarten in ihren verschiedenen Entwicklungsstufen und Altersphasen (d. h. Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
42	9190	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
43	9190	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
44	9190	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
45a,b	9190	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
46a,b	9190	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
47	9190	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
48	9190	Schwanheimer Wald	2) Pflege in mittelalten bis alten Eichen-Mischwäldern, Erhalt und Förderung der Eiche (d.h. Einzelstammentnahme zur Reduzierung des Mischungsverhältnisses von Nebenbaumarten zur Förderung der LRtypischen Hauptbaumart)
49	9190	Schwanheimer Wald	2) Ausgleichsmaßnahme Gateway Gardens: Erhalt LRT 9160 durch Nutzungsverzicht der Altholzbestände
50	91E0	Schwanheimer Wald	2) Ausgleichsmaßnahme Gateway Gardens: Erhalt LRT 91E0 durch Nutzungsverzicht der Altholzbestände
51a,b	9160	Schwanheimer Wald	2) Ausgleichsmaßnahme Gateway Gardens: Erhalt LRT 9160 durch Nutzungsverzicht der Altholzbestände
52	91E0	Schwanheimer Wald	2) Ausgleichsmaßnahme Gateway Gardens: Erhalt LRT 91E0 durch Nutzungsverzicht der Altholzbestände

Quellen:

- 1) nachrichtliche Übernahme aus: Regierungspräsidium Darmstadt (2011): Maßnahmenplan (Bewirtschaftungsplan) für das FFH - Gebiet 5917-301 „Schwanheimer Düne“
- 2) nachrichtliche Übernahme aus: Regierungspräsidium Darmstadt (2010): Maßnahmenplan (Bewirtschaftungsplan) für das FFH - Gebiet 5917-305 "Schwanheimer Wald"
- 3) gutachterliche Empfehlung auf Basis der Vegetationsaufnahme v. Neckermann & Achterhold (2012)

## 4 Critical Loads-Konzept

Unter dem Begriff Critical Loads sind naturwissenschaftlich begründete Belastungsgrenzen zu verstehen. Als Wert für die Critical Loads wird in quantitativer Abschätzung derjenige Schadstoffeintrag bestimmt, bei dessen Unterschreitung nach derzeitigem Kenntnisstand schädliche Effekte am ausgewählten Schutzgut mit Sicherheit ausgeschlossen werden können. Dabei werden sowohl mittel- als auch langfristig zu erwartende Schäden unter Berücksichtigung von unterschiedlich langen Reaktionszeiten von Pflanzen auf unterschiedlich hohe Belastungen betrachtet.

Unter der Schirmherrschaft der Vereinten Nationen wurde 1979 von der UN-Wirtschaftskommission für Europa (UNECE) in Genf die „Convention on Long-range Transboundary Air Pollution“ (CLRTAP) begründet. Innerhalb dieses Genfer Luftreinhalteübereinkommens ist das Konzept der Critical Loads & Levels im Sinne ökologischer Belastungsgrenzen fest verankert. Deutschland ist Mitglied in dem für diese Aufgabe verantwortlichen ICP Modelling & Mapping (International Cooperative Programme on Modelling & Mapping of Critical Loads and Levels, Air Pollution Effects, Risks and Trends). Die Aufgaben eines National Focal Center (1997- 2012) bzw. des National Data Center Deutschlands (2012 – 2017) für dieses Programm wurden der ÖKO-DATA GmbH übertragen (s. Schlutow et al. 2018).

Die o. g. Definition der Critical Loads ist dem Mapping Manual (CLRTAP 2004, 2014, 2017) entnommen und gilt für die Anwendung im Rahmen der UNECE Working Group on Effects.

Diese Definition kann für eine Anwendung von Critical Loads im Rahmen der FFH-Richtlinie inhaltlich übernommen werden, jedoch basiert die Ermittlung von Critical Loads für FFH-Lebensraumtypen auf für diesen Schutzzweck modifizierten Grundlagen und Methoden. Die in den periodisch erscheinenden CCE-Reports des ICP Modelling & Mapping (zuletzt 2016) veröffentlichten Critical Loads für Europa sind auf regionaler Ebene daher nicht auf FFH-Lebensraumtypen übertragbar. Im Folgenden werden mit „Critical Loads“ die speziell für FFH-Lebensraumtypen ermittelten Werte verstanden, die mit den Critical Loads im europäischen Maßstab gemäß CCE-Report oder den nationalen deutschen Critical Loads im 1x1 km<sup>2</sup> Raster-system nicht zwangsläufig übereinstimmen.

### 4.1 Empirische Critical Loads

Bei den empirischen Ansätzen werden auf Erfahrungen und Felduntersuchungen beruhende Grenzwerte für einen Schadstoff einem bestimmten ökologischen Rezeptor bzw. einem definierten Ökosystem zugewiesen. Die Zuweisung solcher Erfahrungswerte basiert in der Regel auf mehrjährigen Beobachtungen. Empirische Critical Loads für Stickstoff wurden zuerst 1988 bei einem Experten-Workshop in Skokloster zusammengestellt, 1992 in Lökeberg und 1995 in Genf ergänzt. Auf dem Workshop 2002 in Bern wurde von den europäischen Experten unter Federführung von Achermann u. Bobbink (2003) die empirische Zuweisungsmatrix für verschiedene Ökosystemtypen Europas neu zusammengestellt („Berner Liste“). 2010 wurde in Noordwijkerhout (Niederlande) ein weiterer Experten-Workshop durchgeführt, mit dem Ziel der Revision der „Berner Liste“, so dass diese revidierte Liste den gegenwärtigen Erkenntnisstand widerspiegelt (Bobbink u. Hetteling 2011).

Für mitteleuropäische Laubwälder ist in der revidierten Liste der CL<sub>emp</sub>N 2010 eine Spanne der Critical Loads (CL<sub>emp</sub>N) von 10 - 20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, für Fichten- und Tannenwälder eine Spanne von 10 - 20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und für Kiefernwälder 5 - 15 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> angegeben. Diese CL<sub>emp</sub>N

sind spezifiziert auf verschiedene Schutzgüter bezogen, z. B. auf den Schutz des Grundwassers vor ansteigenden Nitrateinträgen, zum Schutz der Bäume vor Nährstoffungleichgewichten, zum Schutz des Bodens vor ansteigender Mineralisierung und Nitrifizierung, zum Schutz der Bodenvegetation, der Algen und Flechten und zum Schutz der Mykorrhiza. Die  $CL_{empN}$  für Wälder basieren nur auf Expertenschätzungen. Belastbare Studien lagen auch 2010 nicht vor. Ebenso fehlen etliche Waldtypen, wie u.a. die FFH-Lebensraumtypen der Hainbuchen-, Erlen-/Eschen-, Weiden- und Ahorn-/Ulmen-/Linden-Schluchtwälder, der Moorwälder, der alpinen Wälder usw..

Empirische CL für mitteleuropäisches Grasland und Heiden reichen von 5 bis 30 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Die untere Spanne berücksichtigt die besondere Empfindlichkeit von Moosen und Flechten. Bei den (moos- und flechtenfreien) Mähwiesen, Weiden und Heiden hängt der CL im Wesentlichen von der Bewirtschaftungsintensität ab. Diese  $CL_{empN}$  für Grasland sind relativ zuverlässig durch entsprechende Studien belegt. Jedoch fehlt in der Liste eine Reihe von Graslandtypen, zu denen keine Aussagen getroffen werden konnten. Auch ist die Bewirtschaftungsweise und -intensität nicht angegeben.

## 4.2 Das DECOMP-Modell zur Ermittlung von Critical Loads

### 4.2.1 Modellansatz und Grundannahmen

Die auf das DECOMP-Modell gestützte Methode zur Ermittlung von Critical Loads berücksichtigt dynamische Veränderungen von Ökosystemen, hier mit dem Fokus auf den Stoffhaushalt von Stickstoff. Die grundlegende Annahme besteht darin, dass in Mitteleuropa insbesondere im 20. Jahrhundert durch versauernde und eutrophierende Luftschadstoffeinträge signifikante Veränderungen des ökosysteminternen Stoffkreislaufes in den meisten naturnahen Ökosystemen bereits stattgefunden haben.

In der 2. Hälfte des vorigen Jahrhunderts entstanden Nährstoffungleichgewichte in vielen Ökosystemen. Der ökosysteminterne Nährstoffkreislauf ist seitdem nicht mehr im ausgewogenen Gleichgewicht.

Der SMB-Ansatz geht demgegenüber davon aus, dass noch ein Nährstoffgleichgewicht besteht, das in Zukunft nicht gefährdet werden darf.

Der DECOMP-Modellansatz zur Ermittlung des Critical Loads geht jedoch davon aus, dass die Deposition auf ein Maß beschränkt werden muss, das es erlaubt, dass sich wieder ein ökosysteminternes Fließgleichgewicht eines ausgewogenen Nährstoffkreislaufes einstellt. Es muss ein Gleichgewicht von Mineralisierung und Immobilisierung erreicht werden, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der N-Vorrat im Boden (abgesehen von saisonalen Schwankungen) nicht zunimmt, aber auch nicht abnimmt, d. h. dass sich ein langfristig konstantes C/N-Verhältnis einstellt, das idealtypisch für den spezifischen Ökosystemtyp ist.

Das DECOMP-Modell berücksichtigt gegenwärtig nur die Terme, die den stärksten Einfluss auf den Nährstoffhaushalt eines Ökosystems haben. Dabei werden weitere Einflussfaktoren (noch) vernachlässigt, für deren Wirkung eine verallgemeinerungsfähige Datenbasis noch nicht vorliegt (z. B. Phytooxidation) oder deren Wechselwirkungen mit anderen Faktoren für eine Modellierung nicht ausreichend geklärt ist (z. B. Phosphorlimitierung).

Ebenso wird die Stickstoff-Fixierungsrate ( $N_{fix}$ ) durch einige Pflanzen bzw. ihre Symbionten bei der Critical Load-Berechnung als vernachlässigbar eingeschätzt. Dies ist deshalb gerechtfertigt, weil die hohen Depositionsraten von reduzierten und oxidierten N-Verbindungen in Deutschland in der Vergangenheit tendenziell dazu führen, dass Pflanzen die Aufnahme von molekularem N<sub>2</sub> aus der Luft reduzieren und vorzugsweise NO<sub>x</sub> oder NH<sub>y</sub> aus den Luftverunreinigungen aufnehmen, da für die Verstoffwechslung dieser N-Verbindungen weniger Energie benötigt wird als zur Verwertung von N<sub>2</sub>.

Dennoch wird die Fixierungsrate aus programmtechnischen Gründen auf den Minimalwert von 0,1 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> gesetzt.

#### 4.2.2 Mathematische Grundlagen des Modells

Die **Mineralisierungsrate** ( $N_{min}$ ) spielt im SMB-Modellansatz (vgl. Kap. 4.4) keine Rolle, da die Annahme getroffen wurde, dass die Summe aus der Aufnahme von  $N_{min}$  in die Biomasse, der Denitrifikationsrate, der unschädlichen N-Auswaschungsrate sowie der Immobilisierungsrate von  $N_{min}$  immer gleich oder größer ist als die Mineralisierungsrate, so dass ein Überschuss an  $N_{min}$  und damit eine Anreicherung von  $N_{min}$  im Bodenwasser bzw. eine übermäßige Auswaschungsrate ausgeschlossen ist. Jedoch gilt diese Annahme im DECOMP-Modell nicht (vgl. Kap. 4.2.1). Eine den heutigen Naturgegebenheiten mehr entsprechende Annahme verfolgt das DECOMP-Modell, in dem die Netto-Mineralisierungsrate nicht wie im SMB-Modell auf 0 gesetzt wird, sondern wie folgt ermittelt wird:

Die Gesamt-Mineralisierungsrate im Jahr setzt sich zusammen aus dem Anteil, der durch Dekompostierung der frischen Streu ( $N_{min(litter)}$ ) entsteht und dem Anteil, der im Pool des immobilisierten N-Vorrats bereits als sekundäre Metabolite vorliegt und remineralisiert werden kann ( $N_{min(re)}$ ). Die N-Mineralisierungsrate hängt linear proportional von der Abbaurrate der organischen Masse ab (Walse et al. 1998). Diese Abbaurrate wiederum hängt ihrerseits in erster Linie von der Menge der verschiedenen Pools an organischen Kompartimenten ab (vgl. Tab. 8), die sich hinsichtlich ihrer Abbaubarkeit wie folgt unterscheiden: (1) leicht abbaubare organische Kompartimente wie Proteine und Proteide („EDC“), (2) Zellulose, Hemizellulose und Pektin („Cell“), (3) Lignine und Lipide („Lign“), (4) abbauresistente Kompartimente („Res“). Die Abbaurrate über alle 4 Pools ist eine Funktion der Temperatur, der Bodenfeuchte und der Boden-Azidität. Diese Abbaurrate zu ermitteln, war das originäre Ziel der DECOMP-Modellentwickler in Schweden (Walse et al. 1998; Wallman et al. 2006; Belyazid 2006).

Tab. 8: Kohlenstoffgehalt der grünen Phytomasse, Verhältnis von Erntemasse zu Masse an Ernterückständen und Anteile der org. Kompartimente an der Masse in Abhängigkeit vom Vegetationstyp

Vegetationstyp	Verhältnis von Entzug durch Ernte (Kap. 5.5) zu Ernterückstand	C-Gehalt [g t <sup>-1</sup> TS <sup>-1</sup> ] in der Phytomasse	C/N-Verhältnis in der Streu	EDC	CELL	LIGN
Erle	1:1	508 000	15	0,158449	0,068398	0,773153
Ulme, Esche, Hainbuche	1:1	508 000	32 - 28	0,085239	0,103921	0,81084
Linde	1:1	508 000	37	0,064626	0,125264	0,810111
Ahorn, Eiche, Birke, Buche	1:1	508 000	47 - 53	0,046986	0,15532	0,797694
Espe	1:1	508 000	63	0,03809	0,178949	0,78296
Fichte	1:1	508 000	48	0,049903	0,149136	0,800962
Kiefer	1:1	508 000	66	0,03637	0,184616	0,779014
Lärche	1:1	508 000	113	0,02132	0,264716	0,713965
natürliches Grünland (Magerrasen, Frischwiesen)	1:1	490 000	27	0,088375	0,101419	0,810207
Heiden	1:2	515 000	39	0,061333	0,129762	0,808905
Kalktrockenrasen	1:1	500 000	15	0,158449	0,068398	0,773153
Moore, Sümpfe	1:2	510 000	15	0,158449	0,068398	0,773153

abgeleitet aus Belyazid (2006); Schachtschabel et al. (1998); Scheffer u. Ulrich 1960

Die folgenden Algorithmen sind entlehnt aus dem dynamischen Modell VSD (Very simple dynamic model), das vom europäischen Koordinierungszentrum (CCE) bereitgestellt wurde und in vielen europäischen Signatarstaaten des Genfer Luftreinhalteabkommens zur Anwendung

kommt (CCE 2011). Die jährliche Änderung des Stickstoff-Vorrates  $N_t$  wird im VSD ermittelt mit folgenden Gleichungen:

$$\frac{dN_t}{dt} = N_t - N_{\min}(t) + N_i(t) + N_{dep}(t) - N_u(t) - N_{le}(t) - N_{de}(t) \quad \text{mit} \quad dt = 1a$$

wobei:

- $N_t$  = festgelegter Gesamt-Stickstoffgehalt im Oberboden [ $\text{kg ha}^{-1}$ ] als Summe aus org. immobilisiertem N und mineralischem N des Muttergesteins im Jahre t
- $N_{\min}(t)$  = Gesamt-Mineralisierungsrate [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] als Summe aus jährlicher Mineralisationsrate der frischen organischen Substanz ( $N_{\min(\text{litter})}$ ) und der Rücklösung aus dem aktiven organischen N-Stock
- $N_i(t)$  = Netto-Immobilisierungsrate [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]
- $N_{dep}(t)$  = N-Depositionsrate [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]
- $N_u(t)$  = N-Aufnahmerate in die oberirdische pflanzliche Biomasse [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]
- $N_{le}(t)$  = Auswaschungsrate von N mit dem Sickerwasser [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]
- $N_{de}(t)$  = Denitrifikationsrate [ $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]

Der Summenindikator für das Vorhandensein eines dynamischen Fließgleichgewichtes von Mineralisierungsrate und Aufnahmerate von  $N_{\min}$  in die Biomasse, Denitrifikationsrate, unschädlichen N-Auswaschungsrate sowie Immobilisierungsrate von  $N_{\min}$  im Pflanze-Boden-System ist ein langfristig stabiles C/N-Verhältnis im Oberboden (Oh+Ah) (De Vries et al. 2007, CLRTAP 2017). Der Critical Load für N-Einträge wird demnach dort angesetzt, wo ein nachhaltig stabiles Gleichgewicht zwischen N-Einträgen, Immobilisierung, Mineralisierung und Aufnahme in die oberirdische Biomasse zu einem langfristig stabilen C/N-Verhältnis im Boden führen wird, das ausreichend für die Existenz einer regenerierungsfähigen Pflanzengesellschaft ist. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, neben der Änderungsrate des N-Vorrats auch die Änderungsrate des C-Pools zu modellieren.

Dabei unterliegt die Mineralisierung der C-haltigen Substanzen den gleichen Umweltbedingungen wie die der N-haltigen Substanzen, da beide Elemente in organischer Substanz immer chemisch miteinander verbunden vorliegen. Deshalb kann man zur Bestimmung der C-Mineralisierungsrate den Ansatz des Dekompostierungsmodells DECOMP, das im Original (Wallmann et al. 2006; Belyazid 2006) für die Bestimmung des Kohlenstoffvorrates eingesetzt wird, verwenden und entsprechend erweitern. Die N-Mineralisierung kann wie folgt vereinfacht als proportional zur C-Mineralisierung angenommen werden:

$$N_t = \frac{C_t}{C/N_{crit(phyto)}}$$

mit

- $C_t$  = Gesamt-Kohlenstoffgehalt im Oberboden [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]
- $C/N_{crit(phyto)}$  = unteres noch optimales C/N-Verhältnis im Oberboden, vegetationspezifisch (vgl. Kap. 4.5.2)

Dabei ergibt sich  $C_t$  aus dem bodengenetisch determinierten C-Gehalt (in Carbonatböden) im steady state  $C_0$  zu Beginn der Simulation und dem Anteil an dem jährlichen C-Eintrag durch die Netto-Aufnahme von  $\text{CO}_2$  aus der Luft durch die Pflanzen, der bei der Dekompostierung der Phytomasse in den C-Pool des Bodens eingeht. Um  $C_t$  ermitteln zu können, muss das C/N-Verhältnis in den Kompartimenten des Streufalls ( $C/N_{litter}$ ), der Anteil an der Netto-Phytomasseproduktion, der nicht geerntet, sondern dekompostiert wird (Verhältnis von Entzug durch Ernte zu Ernterückstand), sowie der N-Gehalt in der Phytomasse (vgl. Tab. 8) bekannt sein. Entsprechende Referenzwerte sind in Scheffer/Schachtschabel (Schachtschabel et al. 1998) angegeben. Die Methan-Emission als eine C-Senke des Bodens ist vernachlässigbar gering (Schlutow et al. 1999) und wird deshalb nicht berücksichtigt.

$C_t$  lässt sich nun nach folgender Formel berechnen:

$$C_t = C_0 + \sum_t \frac{dN_t}{C / N_{crit(phyto)}}$$

bzw.

$$C_t = C_0 + \frac{N_{phyto}}{C_{phyto}} \cdot \sum_t dN_t$$

Für die Ermittlung des Critical Loads  $CL_{nut}(N)$  ist die Berechnung von  $C_t$  mit schrittweiser Erhöhung von  $N_{dep}$  um jeweils  $1 \text{ kg N ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  iterativ in simulierten Jahresschritten ( $N_u$ ,  $N_i$ ,  $N_{ie}$  und  $N_{de}$  können nur als Jahresdurchschnitt bzw. Jahressummen angegeben werden) solange fortzusetzen, bis die Bedingung

$$N_t = \frac{C_t}{C / N_{crit(phyto)}}$$

erfüllt ist.

$$N_{dep}(t) \equiv CL(N) \quad \text{wenn} \quad \frac{dN_t}{dt} \rightarrow 0$$

Wenn sich bei weiterer schrittweiser Erhöhung der simulierten N-Depositionsrate gegenüber dem Ergebnis des letzten Schrittes keine Zunahme von  $C_t$ ,  $N_t$ ,  $N_{min}$ ,  $N_i$  und  $N_u$  mehr ergibt und alle Critical Limits eingehalten werden, ist ein Gleichgewicht, mithin der Critical Load, erreicht (vgl. Abbildung 1).

Das kritische C/N-Verhältnis im humosen Oberboden für eine optimale Existenzmöglichkeit der naturnahen Vegetation ( $C/N_{crit(phyto)}$ ) wird vom BERN-Modell für die schutzbedürftigen Vegetationskomplexe als Output ausgegeben und kann hier in den Modelllauf als Input eingegeben werden (vgl. Kap. 4.5.2).

Während die N-Aufnahmerate in die erntbare Biomasse, die Denitrifikationsrate und die akzeptable N-Auswaschungsrate mit den Methoden des SMB-Modells ermittelt werden (vgl. Kap. 5), wird die Netto-Immobilisierungsrate aus den Ergebnissen des DECOMP-Modells ausgelesen.

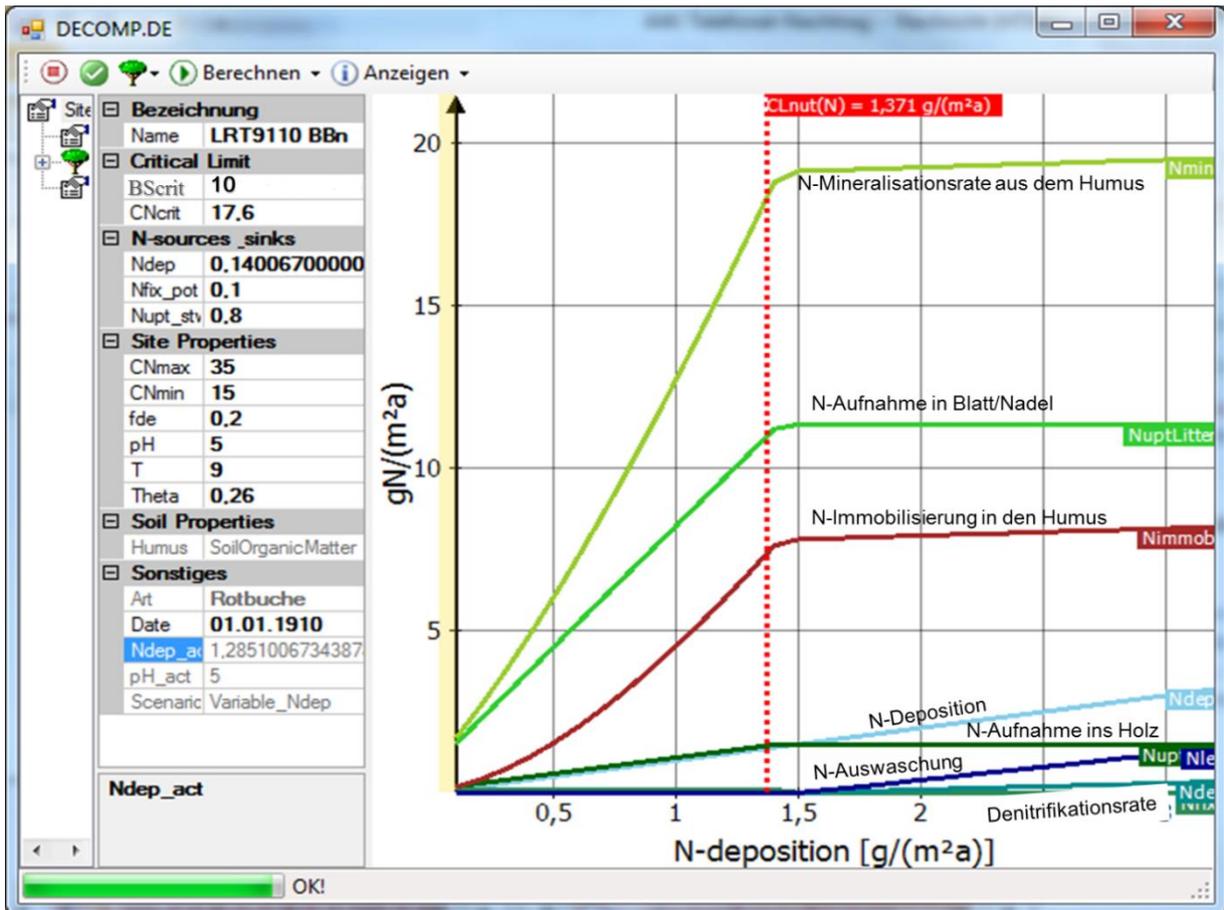


Abbildung 1 a: Simulation der N-Haushaltsglieder bei schrittweiser Erhöhung der N-Deposition

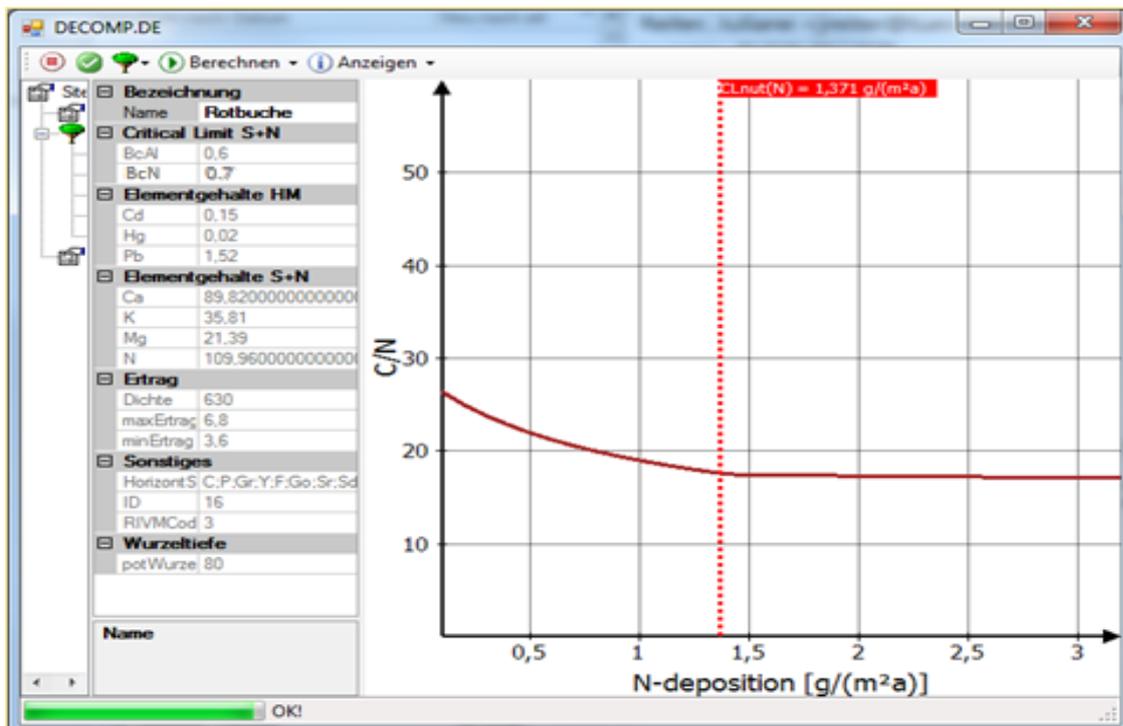


Abbildung 1 b: Simulation des C/N-Verlaufs bei schrittweiser Erhöhung der N-Deposition

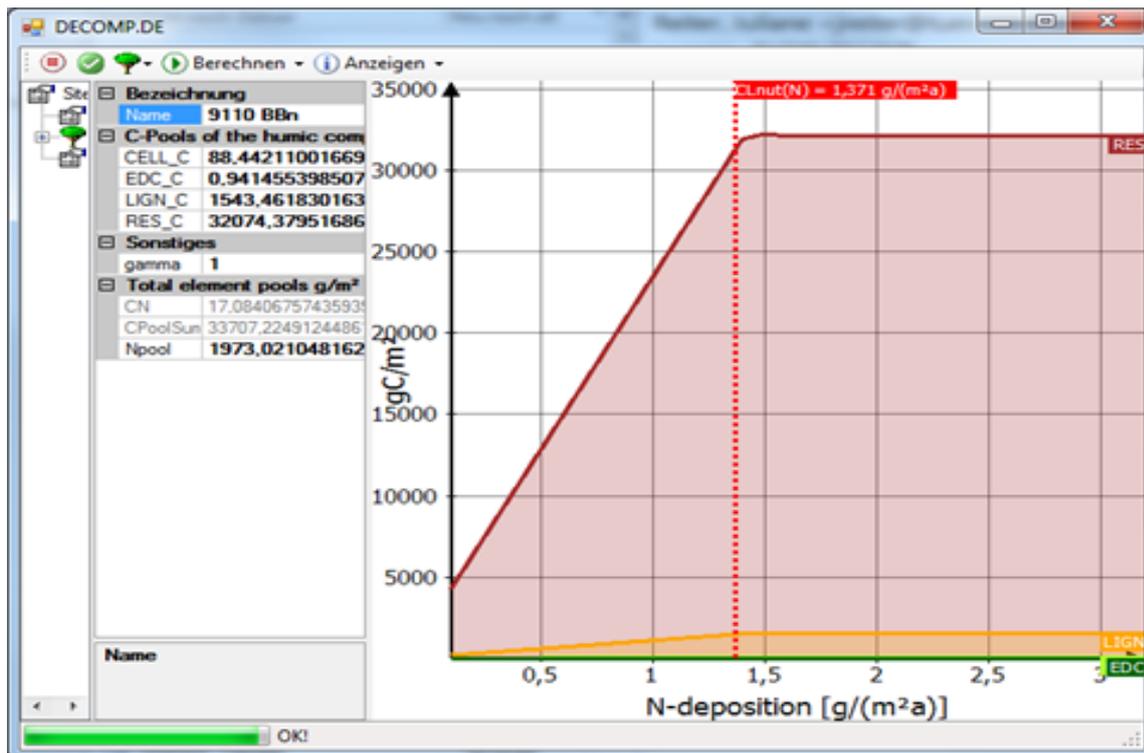


Abbildung 1 c: Simulation des C-Gehalts im Oberboden bei schrittweiser Erhöhung der N-Deposition (CELL = Zellulose, LIGN = Lignin, EDC= leicht zersetzbare org. Streukompartimente, RES = schwer zersetzbare bzw. resistente org. Streukompartimente)

Abbildung 1: Prinzip der Bestimmung des Critical Loads für den N-Eintrag an einem Beispielstandort

### 4.3 Das SMB-Modell zur Ermittlung von Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge

Wesentliche Standards und Grundlagen für die Modellierung von Critical Loads sind im Mapping Manual des ICP Modelling and Mapping zusammengestellt (siehe dazu ausführlich CLRTAP 2004, 2014, 2017).

Der Critical Load für den eutrophierenden Stickstoffeintrag wird in Anwendung der Massenbilanz-Methode (SMB) entsprechend Manual wie folgt ermittelt:

Der zulässige Stickstoffeintrag ins Ökosystem  $CL_{eut}N$  kann als die Einstellung des Gleichgewichts zwischen Stoffein- und -austrägen beschrieben werden. Zeitweilige Abweichungen vom Gleichgewichtszustand sind nur tolerierbar, solange das System aus sich selbst heraus regenerationsfähig bleibt (quasi-stationärer Zustand). Eine modellhafte Beschreibung des Stickstoffhaushalts von Ökosystemen unter diesen Bedingungen stellt die folgende Gleichung dar:

$$CL_{eut}N = N_u + N_i + N_{le(acc)} + N_{de}$$

wobei:

- $CL_{eut}N$  = Critical Load für eutrophierenden Stickstoffeintrag [ $kg\ N\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]
- $N_u$  = Netto-Stickstoff-Aufnahmerate durch die Vegetation [ $kg\ N\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]
- $N_i$  = Netto-Stickstoff-Immobilisierungsrate [ $kg\ N\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]
- $N_{le(acc)}$  = tolerierbare Austragsrate von Stickstoff mit dem Sickerwasser [ $kg\ N\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]
- $N_{de}$  = Denitrifikation von Stickstoff [ $kg\ N\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]

Die Netto-Immobilisierungsrate  $N_i$  ist der Anteil an Stickstoffkomponenten im Ökosystem, der mit dem Blatt- bzw. Nadelfall organisch gebunden in die Humusschicht eingeht und dort dauer-

haft organisch gebunden, also ungelöst und damit nicht pflanzenverfügbar verbleibt (vgl. Kap. 5.2). Ein kleiner Anteil an der Immobilisierungsrate resultiert auch aus der Reimmobilisierung von bereits gelöstem (mineralisiertem) N, das wieder von Bodenorganismen aufgenommen und somit organisch gebunden immobilisiert wird.

Die Denitrifikationsrate  $N_{de}$  ist der Anteil an Stickstoffverbindungen, der wieder aus dem Boden in die Atmosphäre ausgegast wird (vgl. Kap. 1).

Der Rest an deponiertem und mineralisiertem Stickstoff, der nicht von Pflanzen aufgenommen, durch Denitrifikation in die Atmosphäre ausgegast oder durch Immobilisierung im Humus akkumuliert wird, wird mit dem Niederschlag aus dem Bodenwasser in die tieferen Schichten und letztendlich ins Grundwasser ausgewaschen (= Austrag mit dem Sickerwasser  $N_{le(acc)}$  - s. 5.4). Dieser Austrag wird auf ein tolerierbares Maß begrenzt, indem kritische Schwellenwerte für die Konzentrationen in der Bodenlösung festgelegt wurden (vgl. 5.4).

Die Netto-Mineralisierung wird - im langfristigen Gleichgewichtszustand – auf Null gesetzt, da eine Überschuss-Mineralisierung nicht zugelassen werden soll.

Die  $N_2$ -Fixierungsrate durch einige Pflanzen bzw. ihre Symbionten wird als vernachlässigbar eingeschätzt. Dies ist deshalb gerechtfertigt, weil die hohen Depositionsraten von reduzierten und oxidierten N-Verbindungen in Deutschland i.d.R. dazu führen, dass Pflanzen die Aufnahme von molekularem  $N_2$  aus der Luft reduzieren und vorzugsweise  $NO_x$  oder  $NH_y$  aus den Luftverunreinigungen aufnehmen, da für die Verstoffwechslung dieser N-Verbindungen weniger Energie benötigt wird als zur Verwertung von  $N_2$ . Limmer (1996) weist nach, dass durch einen Überschuss an Ammonium im Boden das Enzym Nitrogenase bei den meisten  $N_2$ -fixierenden Mikroorganismenarten reversibel inaktiviert wird. Auch unterliegen die  $N_2$ -Fixierer in Anwesenheit von Nitrat in der Konkurrenz mit den Denitrifizierern, die den Elektronenfluss von der Nitrogenase zur Nitratreduktase lenken. Die Nitratammonifikation läuft ebenfalls bevorzugt ab. Sie hat einen doppelten Hemmeffekt: den Verbrauch von Energiequellen und die Produktion von Ammonium, das wiederum ein direkter Hemmstoff der Nitrogenase ist (ebenda).

#### 4.4 Das SMB-Modell zur Ermittlung von Critical Loads für versauernde Stoffeinträge

Die Ermittlung der Critical Loads für die versauernde Wirkung von N-Einträgen, verstärkt durch S-Einträge (CL(S+N)) und die hieraus abgeleitete Bewertung von möglichen multiplen Wirkungen von N- und S-Einträgen erfolgt im Wesentlichen nach methodischen Grundsätzen und Formeln, wie sie auch im Manual (CLRTAP 2004, 2014, 2017) empfohlen werden, jedoch angepasst an die Erfordernisse der standortspezifischen Einzelfallbetrachtung von FFH-Lebensräumen.

Der Critical Load für den aktuellen Säureeintrag wird in Anwendung der Massenbilanz-Methode entsprechend Manual (CLRTAP 2004, 2014, 2017) nach folgender Gleichung berechnet, die die wichtigsten Quellen und Senken für Protonen berücksichtigt:

$$CL(S + N) = CL(S) + CL(N) = BC_{dep}^* - Cl_{dep}^* + BC_w - Bc_u + N_i + N_u + N_{de} - ANC_{le(crit)}$$

wobei:

- $CL$  = Critical Load (Belastungsgrenzwert) [ $eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]
- $S$  = Schwefelverbindungen
- $N$  = Stickstoffverbindungen
- $BC_{dep}^*$  = seesalzkorrigierte Rate der Deposition basischer Kationen  $Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^++Na^+$  [ $eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]
- $Cl_{dep}^*$  = seesalzkorrigierte Rate der Deposition von Cloridionen [ $eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]
- $BC_w$  = Freisetzungsrates basischer Kationen durch Verwitterung,  $Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^++Na^+$  [ $eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]
- $Bc_u$  = Nettoaufnahmebasischer Kationen durch die Vegetation,  $Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^+$  [ $eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ]

$N_i$  = Stickstoff-Immobilisierungsrate [ $\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]  
 $N_u$  = Nettoaufnahme von Stickstoff durch die Vegetation [ $\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]  
 $N_{de}$  = Denitrifikationsrate von Stickstoff [ $\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]  
 $ANC_{le(crit)}$  = Kritische Austragsrate der Säureneutralisationskapazität mit dem Sickerwasser [ $\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]

Zu den maßgeblichen Prozessen, die den Säureinträgen gegenüberstehen, gehören die Verwitterung und die Deposition basischer Kationen, die wiederum jedoch vermindert werden durch den Stoffentzug mit der Biomasse sowie durch die Auswaschung von Säureneutralitätskapazität mit dem Sickerwasser.

BC als Summe der basischen Kationen bezieht sich immer auf  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$  [ $\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]. Im Unterschied dazu enthält Bc nur die Summe von  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$  [ $\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ], weil Na kein relevanter Pflanzennährstoff ist.

## 4.5 Das BERN-Modell als Datenbasis für die Ermittlung von vegetationspezifischen Eingangswerten für die Modellierung

### 4.5.1 Modellansatz und Datenbasis

Als Schutzgüter im Sinne der Critical Load-Definition (vgl. Kap. 3) werden die für den Schutz von Natura 2000-Gebieten maßgeblichen FFH-Lebensraumtypen und Arten betrachtet. Dies schließt alle Strukturen und Funktionen ein, die für die langfristige Erhaltung oder Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes notwendig sind. Die Critical Loads für eine FFH-VU müssen demzufolge sowohl vegetations-, als auch standortspezifisch ermittelt werden.

Mit Hilfe des BERN-Modells werden die maßgeblichen Bestandteile der LRT (charakteristische Pflanzenarten, wertgebende Pflanzengesellschaften) hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit analysiert. Die Ergebnisse (pflanzenökologische Critical Limits) werden in die SMB-Methode eingestellt.

Folgende Arbeitsschritte wurden zum Aufbau der Datenbank mit standort-/vegetationstypischen Critical Loads für FFH-Lebensraumtypen durchgeführt:

1. Zuordnung der charakteristischen Pflanzengesellschaften der FFH-Lebensraumtypen Deutschlands zu ihren Referenz-Standorttypen;
2. Zuordnung von Referenz-Standortparametern zu den Standorttypen, die einen günstigen Erhaltungszustand, d. h. optimale Existenzbedingungen für die charakteristischen Pflanzengesellschaften ermöglichen
3. Ableitung der bodenchemischen und pflanzenphysiologischen Schwellenwerte (Critical Limits) für eutrophierende und versauernde Effekte

Die Datenbasis beruht auf empirischen Erhebungen. Es existiert eine Fülle von Aufnahmen natürlicher und sekundär-natürlicher Pflanzengesellschaften mit überwiegend verbalen Angaben zu Standort- und Klimafaktoren. Aus diesen Aufnahmen wurden die Datenbanken für das BERN-Modell entwickelt. So wurde die Struktur der Pflanzengesellschaften (Deckungsgrade der Vegetationsschichten, Charakterarten, hochstete Arten und deren Deckungsgrade innerhalb der Vegetationsschichten, regionale Trennarten sowie weitere typische geschützte Arten) aus den veröffentlichten Stetigkeitstabellen der pflanzensoziologischen Fachliteratur entnommen (vgl. Schlutow et al. 2018).

Die ca. 45.000 Vegetationsaufnahmen, die bis heute ausgewertet wurden (vgl. Schlutow et al. 2018) verteilen sich flächig auf Deutschland, Mittel- und Südeuropa mit Schwerpunkten in überwiegend bewaldeten, von Grasland oder Mooren geprägten Regionen.

In die Artenliste der BERN-Datenbank werden die Arten mit einer hohen Stetigkeit von 70 % oder mehr aufgenommen, weiterhin die Charakterarten, wenn sie eine Stetigkeit von 40 % oder mehr aufweisen, dazu die regionalen Differenzialarten sowie die geschützten Arten, die typi-

scherweise, wenn auch nicht höchstet in der Gesellschaft vorkommen. Zu allen Arten wurden die gesellschaftstypischen Deckungsgrade in der jeweiligen Vegetationsschicht übernommen.

Die folgenden geo-ökologischen Standortfaktoren wurden als wesentliche vegetationstypbestimmende Parameter ermittelt und den naturnahen und halbnatürlichen Pflanzengesellschaften und -arten als Referenzstandortparameter zugeordnet. Diese Zuordnung von Parameterspannen zu Gesellschaften und Arten bilden die Datenbasis des BERN-Modells:

- Bodentyp, Ausgangsmaterial, Substrat, Humusform
- Höhe des Standorts über NN
- Hangneigung [°]
- Exposition [grd:min:sec]
- Wassergehalt bei Feldkapazität [ $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ], mittl. Grundwasserflurabstand, mittl. Stauwasserstufe
- Basensättigung nach Kappen-Adrian [%] und  $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ -Wert (diese 2 Parameter sind hochkorreliert)
- C/N-Verhältnis [-]
- Klimatische Wasserbilanz [ $\text{mm Vegetationsmonat}^{-1}$ ] (Niederschlag minus Evapotranspiration); dieser Parameter ist korreliert mit  $R^2 = 1$  mit dem Parameter der Humidität (Bowen-Wert = potenzielle Evaporation in der Vegetationszeit / Niederschlag in der Vegetationszeit; dieser Parameter ist ebenfalls korreliert mit  $R^2 = 0,98$  mit dem Parameter für die Kontinentalität (De Martonne-Index = Niederschlag in der Vegetationszeit / Mitteltemperatur in der Vegetationszeit + 10)
- Vegetationszeitlänge [ $\text{d a}^{-1}$ ] (mittlere Anzahl der Tage pro Jahr mit einer Tagesmitteltemperatur von über  $10^\circ\text{C}$ )
- Nutzbare Solarstrahlung [ $\text{kWh m}^{-2} \text{a}^{-1}$ ] (Summe der Lichtenergie in der Vegetationszeit), dieser Parameter beinhaltet den zeitlichen Verlauf der Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel entsprechend dem Breitengrad, die Modifikation des Einstrahlwinkels in Abhängigkeit von Hangneigung und Exposition, die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit im Jahresmittel, die Überschattung durch überlagernde Vegetationsschichten in Abhängigkeit von deren typischem Deckungsgrad in der Gesellschaft
- Temperatur [°] vom Minimum (Frost-Härte) über Minimum und Maximum des Optimumplateaus (Beginn und Ende der Photosynthese) bis zum Maximum (Hitze stress).

Auf Basis dieser Datenbank konnte der Existenzmöglichkeitsbereich jeder Pflanzengesellschaft aus dem Möglichkeitsbereich der höchsteten charakteristischen Arten mit Hilfe eines Minimumoperators der Fuzzy-Logik ermittelt werden (Näheres hierzu siehe Schlutow et al. 2015, 2018).

Diese Datenbasis mit den integrierten Abfragemodulen ermöglicht dem Modellnutzer die Ermittlung der aktuellen ökosystemaren Regenerierungspotenziale sowie von möglichen Regenerierungszielen, der aktuellen floralen Biodiversität, die **Berechnung von kritischen Schwellenwerten für naturnahe und halbnatürliche Vegetationsgesellschaften**, die Rekonstruktion und Prognose des Vegetationswandels in Abhängigkeit von der Nutzungs- und Depositionsgeschichte bzw. deren Zukunftsszenarien und der Prognose des Klimawandels.

#### 4.5.2 Ableitung des kritischen C/N-Verhältnisses ( $\text{CN}_{\text{crit}(\text{phyto})}$ ) und der kritischen Basensättigung ( $\text{BS}_{\text{crit}(\text{phyto})}$ ) mit dem BERN4-Modell

Für die Ermittlung von Critical Loads für Stickstoff- und Schwefelverbindungen, die für den Erhalt bzw. die Wiederherstellung der potenziell möglichen Biodiversität zumindest eingehalten werden sollten, sind die Standortparameter C/N und Basensättigung von besonderem Interesse. Da die Stickstoff- und Schwefeldepositionen sich verändernd auf diese Bodenparameter auswirken, werden als vegetationsspezifische Schwellenwerte das kritische C/N-Verhältnis ( $\text{C/N}_{\text{crit}(\text{phyto})}$ ) und die kritische Basensättigung ( $\text{BS}_{\text{crit}(\text{phyto})}$ ) für jede Pflanzengesellschaft bestimmt, bei dem die Pflanzengesellschaft gerade noch ohne Verlust der charakteristischen Biodiversität existieren kann. Als charakteristische Biodiversität wird die Artenliste der diagnosti-

schen Arten der Gesellschaft, d. h. die Charakter- und hochsteten Begleitarten definiert, wie sie in der BERN4-Datenbank in Auswertung der veröffentlichten Stetigkeitstabellen enthalten sind.

$C/N_{crit(phyto)}$  und  $BS_{crit(phyto)}$  der Pflanzengesellschaften werden dort angesetzt (vgl. Abbildung 2), wo der stickstoff- und schwefelinduzierte Standortgradient den Optimumbereich der Pflanzengesellschaft (dunkelgrün) verlässt. Dieser Gradient weist unterhalb des Optimumbereichs auf ein zunehmendes Nährstoffungleichgewicht hin. Beide Critical Limits ergeben sich aus dem höchsten unteren Optimumwert aller diagnostischen Arten der Gesellschaft. Das heißt, die empfindlichste diagnostische Art bestimmt mit ihrer (engen) ökologischen Nische die Critical Limits der Gesellschaft.

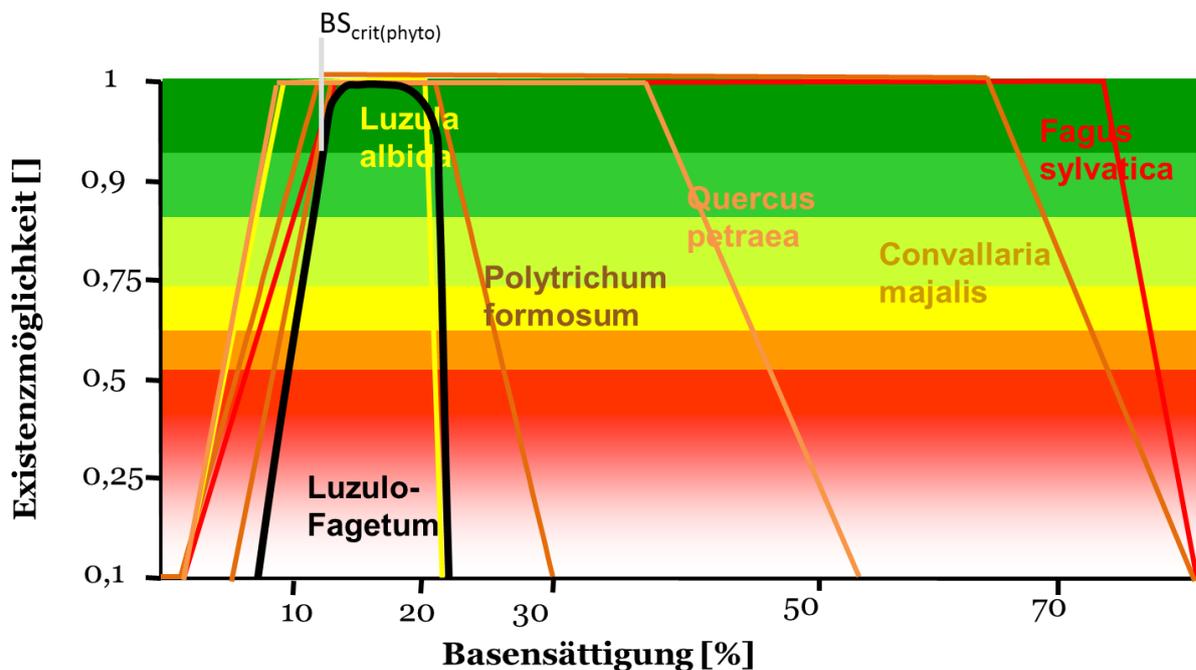


Abbildung 2: Prinzipskizze für die Berechnung von Critical Limits aus der Möglichkeitsfunktion der Pflanzengesellschaft, hier am Beispiel des Critical Limits  $BS_{crit(phyto)}$  des Luzulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MEUSEL 1937

## 4.6 Diskussion der Modelle und Schlussfolgerungen für die Anwendbarkeit auf die FFH-Verträglichkeitsprüfung

### 4.6.1 Gründe für die Wahl der Modelle zur Ermittlung von Critical Loads

**Empirische Critical Loads** für versauernde Stickstoff- plus Schwefeleinträge existieren nicht. Da in der Regel die empirischen Critical Loads für N-Einträge als Wertebereiche angegeben sind, bleibt ein kaum verifizierbarer Beurteilungsspielraum bestehen. Deshalb werden sie in diesem Gutachten nicht unmittelbar herangezogen. Mittelbar geht die kritische N-Konzentration (s. Tab. 13), die auf der Ableitung aus empirischen Critical Loads beruht, in die  $CL_{eutN}$ -Berechnung mit dem DECOMP-Modell ein.

Das auf der **Nutzung dynamischer Modellansätze basierende DECOMP.DE-Modell** zur Bestimmung der Terme für die Critical Loads für eutrophierende Einträge hat den Vorteil einer hohen Aussagegenauigkeit. So werden signifikante Veränderungen des ökosysteminternen Stoffkreislaufes durch massive Stoffeinträge in der Vergangenheit berücksichtigt. Zweck der Anwendung der hiermit ermittelten Critical Loads-Terme ist die (Wieder-)Herstellung eines ausgewogenen nachhaltig stabilen Gleichgewichts von Stoff-, Wasser- und Energiehaushalt, das einem naturnahen Referenzzustand entspricht (analog zum guten ökologischen Zustand in Gewässern) und die Möglichkeit für die Existenz einer naturnahen/halbnatürlichen Pflanzengesellschaft bietet. Das heißt, dieser CL bietet die Gewähr, dass auch schon bestehende naturfremde Ungleichgewichte wieder ausgeglichen werden.

Die Einbeziehung der Mineralisierungsrate in Abhängigkeit vom pH-Wert, der Basensättigung, der Bodentemperatur, dem Bodenwassergehalt, der Zersetzungsdauer und dem C/N-Verhältnis des Streufalls als Eingangsgröße in die Bilanzierung des N-Haushaltes eines Ökosystem bietet gegenüber der Einfachen Massenbilanz-Methode (SMB) die Möglichkeit, rezente Eigenschaften eines Ökosystems zu berücksichtigen, die sich erst im Laufe von anthropogen beeinflussten Veränderungen der Standortbedingungen ergeben haben. Auch im Untersuchungsgebiet sind die LRT-Flächen bereits über viele Jahre mit eutrophierenden und versauernden Einträgen belastet worden. Das ursprünglich im unbelasteten Zustand vorhandene mittelfristige Gleichgewicht von Immobilisierungsrate und Mineralisierungsrate besteht heute nicht mehr. Nicht jede Veränderung des Stoffhaushaltes in der Vergangenheit ist aber rückgängig zu machen. Auch nicht jede Artenverschiebung in der Vergangenheit muss als Schädigung angesehen werden. Der Modellansatz zur Ermittlung des CLeutN mit dem DECOMP-Modell hat die Zielstellung, die Deposition auf ein Maß zu beschränken, das es erlaubt, dass sich wieder ein neues (nicht zwangsläufig dem ursprünglichen entsprechendes) ökosysteminternes Fließgleichgewicht von Immobilisierungsrate und Mineralisierungsrate, d. h. ein ausgewogener Nährstoffkreislauf, einstellt. Da Immobilisierungs- und Mineralisierungsrate sich gegenläufig zueinander verhalten, ist eine Iterationsrechnung für die Einstellung eines Gleichgewichtes erforderlich, die nicht mit der Berechnungsmethode der Einfachen Massenbilanz für den CLeutN möglich ist. Da die Berechnung der sonstigen CLeutN-Terme (N-Aufnahmerate in die erntbare Biomasse, Denitrifikationsrate, akzeptable N-Auswaschungsrate) im DECOMP-Modell analog zu den SMB-Methoden erfolgt, wird aus den DECOMP.DE-Ergebnissen nur die Netto-Immobilisierungsrate in die SMB-Formel übernommen.

Die **Anwendung der Einfachen Massenbilanz (SMB)** ist für die Ermittlung des Critical Loads für eutrophierende und versauernde Einträge in diesem Gutachten ausreichend zielführend, da die dynamischen Ansätze der Wirkungen auf das Fließgleichgewicht von Immobilisierung und Mineralisierung bereits mit dem DECOMP-Modell erfasst wurden und weitere Effekte mit dem SMB-Modell gut abgebildet werden.

**Für die Berechnung des Critical Loads für eutrophierende und versauernde Einträge wird das SMB-Modell verwendet, kombiniert mit Eingangsdaten, die aus empirischen Critical Loads abgeleitet ( $N_{crit(phyto)}$ ), mit dem DECOMP.de-Modell ( $N_i$ ) bzw. mit dem BERN-Modell ( $C/N_{crit(phyto)}$ ,  $BS_{crit(phyto)}$ ) ermittelt wurden.**

**Dabei werden überwiegend die Methoden und Modelle zur Ermittlung der geochemischen Eingangsdaten entsprechend dem Manual des ICP MODELLING & MAPPING (CLRTAP 2004, 2014, 2017) angewendet.**

#### **4.6.2 Ungenauigkeiten der Modelle und der Eingangsdaten**

Modelle und Eingangsdaten, die zur Ermittlung von Critical Loads nach den oben beschriebenen Methoden verwendet werden, basieren i. d. R. auf – wenn auch möglichst genauen – Näherungen an exakte Standortbedingungen, Messungen auf vergleichbaren Standorten sowie auf Expertenschätzungen. So sind Eingangsdaten immer mit einer gewissen Unsicherheit aufgrund von Verallgemeinerungen der Standortcharakteristika, bezogen auf den konkreten zu untersuchenden Standort, behaftet.

Der Critical Load muss für einen angestrebten Referenzzustand bezüglich Bodenqualität und Vegetationsstruktur ermittelt werden, der für den definierten geschützten Lebensraumtyp die Existenz einer stabilen standorttypischen Pflanzengesellschaft in ihren typischen Strukturen und Funktionen garantiert. In diesem Fall muss auf idealtypische Referenzwerte zurückgegriffen werden, deren Übertragbarkeit auf den konkreten Standort naturgemäß mit Ungenauigkeiten verbunden ist, auch wenn dies nach bestem Wissen geschieht. Die BERN-Datenbank, die auf der Auswertung von bisher rund 25 000 Einzelstandortuntersuchungen in Deutschland beruht (vgl. Kap. 4.5 und Schlutow et al. 2018) sowie die Datenbank der Bodenübersichtskarte Deutschlands (BÜK1000N) mit 675 Referenzbodenprofilen bieten hierfür eine repräsentative Datenbasis, wodurch der Ungenauigkeitsgrad auf ein Minimum reduziert wird.

## 5. Ermittlung der Eingangsdaten für die Critical Loads-Modellierung mittels Massenbilanz-Methode

Die im Folgenden dargestellten Methoden und Modelle dienen der Ermittlung von Eingangsdaten für die Critical Loads-Berechnung. Soweit die verfügbaren standortspezifischen Bodenparameter in diesem Projekt (vgl. Kap. 3.1) nicht ausreichen, um die entsprechenden Eingangsparmeter zu generieren, wurde je ein Referenzbodenprofil aus der Bodenübersichtskarte 1:1 Mio. (BÜK1000N, BGR 2014) ausgewählt, das jeweils einer standortspezifischen Bodenform des Untersuchungsgebietes hinsichtlich der charakteristischen bodenchemischen und bodenphysikalischen Parameter weitestgehend entspricht. So konnten aus der Datenbank der BÜK1000N im Analogieschluss jeder Bodenform des Untersuchungsgebietes entsprechende Parameterwerte als Eingangswerte für die CL-Berechnung zugeordnet werden. Aktuelle Messwerte von Bodenparametern im Untersuchungsgebiet sind für die Ermittlung von Critical Loads mitunter nicht geeignet. Die Nutzung von Referenzdaten von vergleichbaren Standorten, die sich nachweislich in einem guten ökologischen Zustand befinden oder zum Zeitpunkt der Analyse befunden haben, ist notwendig, da der Critical Load für einen angestrebten günstigen Referenzzustand bezüglich Bodenqualität und Vegetationsstruktur ermittelt werden muss. Diese Voraussetzung erfüllt die Datenbank der BÜK1000N (BGR 2014).

### 5.1 Denitrifikationsrate ( $N_{de}$ )

Die Denitrifikationsrate  $N_{de}$  ist der Anteil an Stickstoffverbindungen, der wieder aus dem Boden in die Atmosphäre ausgegast wird. Wesentliche Einflussfaktoren auf die Denitrifikationsrate ( $N_{de}$ ) sind die Bodenfeuchte, d. h. das Vorliegen sauerstofffreier Verhältnisse, der Humusgehalt, die Bodentemperatur und die Basensättigung. Ein einfacher aber validierter Ansatz von de Vries et al. (1990) geht von einem linearen Zusammenhang zwischen Denitrifikationsrate und dem Bodenwassergehalt bei anhydromorphen Böden bzw. zusätzlich von dem Stau- oder Grundwassereinfluss in hydromorphen Böden aus, der durch einen Denitrifikationsfaktor  $f_{de}$  operationalisiert wird<sup>4</sup> (Tab. 9).

Tab. 9: Matrix zur Ermittlung der Denitrifikationsfaktoren (CLRTAP 2017, ergänzt)

CLRTAP 2017		
Boden-Parameter		$f_{de}$
Vergleyte Sandböden		0,5
Torfböden		0,8
Podsole	-	0,1
Dränagestatus	status excessive	0
Dränagestatus	status good	0,1
Dränagestatus	status moderate	0,2
Dränagestatus	status moderat/ imperfect	0,3
Dränagestatus	status imperfect	0,4
Dränagestatus	"status poor" / "imperfekt"	0,6
Dränagestatus	status poor	0,7
Dränagestatus	status very poor	0,8

Die  $f_{de}$ -Faktoren wurden den Bodenhorizonten des entsprechenden Referenzprofils aus der Datenbank der BÜK1000N zugeordnet und dann tiefenstufengewichtet über die Gesamttiefe gemittelt. Für die Beurteilungspunkte (BP) ergeben sich demzufolge Denitrifikationsraten in Abhängigkeit vom Hydromorphiestatus des Bodens wie folgt (Tab. 10).

<sup>4</sup> Die Ableitung des Denitrifikationsfaktors nach dem Drainagestatus war in BMVBS 2013 noch nicht vorgesehen und dementsprechend im Vorgängerprojekt (ÖKO-DATA 2013) nicht erfolgt.

Tab. 10: Denitrifikationsraten  $N_{de}$  in Abhängigkeit vom Hydromorphiestatus der Bodenform

BP	LRT	Bodenform	$f_{de}$	$N_{de}$
			-	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
1	2310	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	0,10	0,75
2	2330	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	0,10	0,06
3	2330	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	0,10	0,06
4	2330	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	0,10	0,05
5	2330	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	0,10	0,05
6	2330	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis - lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	0,10	0,05
7	2330	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,10	0,05
8	6230*	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	0,58
9	2330	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	0,10	0,05
10	6510	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	0,10	0,53
11	6510	Braunerde; erodiert;	0,10	0,53
12	6510	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis - lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	0,10	0,53
13	6510	Gley oder Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment über 50-90 cm Altem Hochflutlehm bis -ton über Terrassensand (qp)	0,20	1,18
14	6510	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	1,18
15	6510	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	1,18
16	9110	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	0,35	3,23
19	9110	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,36	3,41
20	9110	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	0,36	3,33
21	9110	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	0,84
22	9110	Gley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	0,29	1,33

BP	LRT	Bodenform	f <sub>de</sub>	N <sub>de</sub>
			-	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
23	9110	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	0,29	1,41
24	9110	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	0,29	1,87
25	9130	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	0,35	3,23
26	9130	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	0,35	3,23
27	9130	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	0,36	3,45
28	9160	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	0,35	1,82
29	9160	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	0,36	1,94
30	9160	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,36	1,94
31	9160	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,21	0,91
32	9160	Gley-Braunerde, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	0,29	1,33
33	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,25	1,13
34	9160	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment (qp) oder Hochflutlehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm bis -ton, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	0,2	0,88
35	9160	Pseudogley; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,35	1,85
36	9160	Gley; >120 cm Lehm bis Ton der Bach- und Altläufe ( qp- qh)/2	0,53	4,03
37	9110	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	1,18
38	9160	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,21	0,91
39	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,21	0,88
40	9190	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	0,35	3,23
41	9190	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	0,35	3,23

BP	LRT	Bodenform	$f_{de}$	$N_{de}$
			-	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
42	9190	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	0,35	3,12
43	9190	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	0,36	3,33
44	9190	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <50cm äolischem und fluviatilem Sand, über teilweise carbonathaltigem Älterem Hochflutsand bis Lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	0,36	3,21
45a	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	0,29	2,18
45b	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	0,29	2,18
46a	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment ( Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	0,35	3,04
46b	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment ( Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	0,35	3,04
47	9190	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Ältem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	1,40
48	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Ältem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	1,41
49	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	1,42
50	91E0*	Anmoorgley; 60-120 cm Altlaufion ( qp- qh) über Terrassensand (qp)	0,53	6,51
51a	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	0,85
51b	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	0,20	1,42
52	91E0*	Anmoorgley; 60-120 cm Altlaufion ( qp- qh) über Terrassensand (qp)	0,53	6,51

## 5.2 Immobilisierungsrate ( $N_i$ )

Die Netto-Immobilisierungsrate  $N_i$  ist der Anteil an N, der mit dem Blatt- bzw. Nadelfall organisch gebunden in die Humusschicht eingeht und dort dauerhaft organisch gebunden verbleibt, also ungelöst und damit nicht pflanzenverfügbar ist. Die jährliche Zuwachsrate an immobilisierten N-Verbindungen setzt sich zusammen aus dem Anteil der nicht innerhalb eines Jahres mineralisierten organischen Substanz, die durch den Streufall in die Humusaufgabe gelangt (95-99%)

und dem Anteil, der aus bereits zuvor mineralisierten N-Vorräten von Bodenorganismen aufgenommen und damit reimmobilisiert wurde (1-5%) (Templer et al. 2012).

Den größten Einfluss auf die Mineralisierungsrate haben das C/N-Verhältnis der organischen Substanz und die Temperatur (Schachtschnabel et al. 1998). Bodenfeuchte und pH-Wert haben einen modifizierenden Einfluss, wenn sie die jeweils optimale Spanne verlassen (ebenda).

Die Jahresmittel-Temperatur im humosen Oberboden wird mit der Lufttemperatur im Jahresdurchschnitt gleichgesetzt und dem DWD-Datensatz 1981-2010 (DWD 2011a) standortspezifisch an den BP entnommen (vgl. Kap. 3.1).

Das vegetationsstypische C/N-Verhältnis im Humus ( $C/N_{crit(phyto)}$ ) wurde mit dem BERN-Modell ermittelt (Schlutow et al. 2018, vgl. auch Kap. 4.5). Die bodentypische C/N-Spanne  $C/N_{min(geo)}$  bis  $C/N_{max(geo)}$  wurde den mit den Bodenformen der BP vergleichbaren Referenzprofilen der BÜK1000N entnommen (vgl. Schlutow et al. 2018).

Die Netto-Immobilisierungsrate wurde mit dem DECOMP.de-Modell ermittelt (vgl. Kap. 4.2).

Die Ergebnisse zeigt Tab. 11.

Tab. 11: Eingangsdaten und Ergebnisse der Berechnung der Netto-Immobilisierungsrate  $N_i$

BP	LRT	$C/N_{min(crit)}$	$C/N_{max(crit)}$	$C/N_{crit(phyto)}$	$N_i$
		%/%	%/%	%/%	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
1	2310	15	35	17	1,31
2	2330	15	35	18	0,65
3	2330	15	35	18	0,65
4	2330	15	35	16	0,58
5	2330	15	35	18	0,64
6	2330	10	25	18	1,10
7	2330	10	25	18	1,10
8	6230*	10	25	20	5,23
9	2330	15	35	16	0,59
10	6510	15	35	15	0,55
11	6510	15	35	15	0,55
12	6510	10	25	15	2,95
13	6510	10	25	14	2,26
14	6510	10	25	14	2,26
15	6510	10	25	14	2,26
16	9110	15	35	18	1,64
19	9110	15	35	18	1,61
20	9110	15	35	18	1,60
21	9110	10	25	20	7,28
22	9110	15	35	20	1,65
23	9110	15	35	20	1,73
24	9110	15	35	20	2,12
25	9130	15	35	16	0,88
26	9130	15	35	16	0,88
27	9130	15	35	16	0,88
28	9160	15	35	15	0,55
29	9160	15	35	15	0,55
30	9160	15	35	15	0,55
31	9160	10	25	15	2,31
32	9160	15	35	15	0,54
33	9160	15	35	15	0,55

BP	LRT	C/N <sub>min(crit)</sub>	C/N <sub>max(crit)</sub>	C/N <sub>crit(phyto)</sub>	N <sub>i</sub>
		%/‰	%/‰	%/‰	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
34	9160	10	25	15	2,33
35	9160	15	35	15	0,55
36	9160	10	20	15	4,08
37	9110	10	25	20	9,96
38	9160	10	25	15	2,33
39	9160	10	25	15	2,26
40	9190	15	35	20	2,59
41	9190	15	35	20	2,59
42	9190	15	35	20	2,52
43	9190	15	35	20	2,52
44	9190	15	35	16	0,85
45a	9190	15	35	18	1,51
45b	9190	15	35	15	0,54
46a	9190	15	35	18	1,54
46b	9190	15	35	18	1,54
47	9190	10	25	18	6,96
48	9190	10	25	18	7,01
49	9190	10	25	16	4,35
50	91E0*	10	20	12	1,98
51a	9160	10	25	18	4,46
51b	9160	10	25	18	7,06
52	91E0*	10	20	12	1,98

### 5.3 Aufnahme von Stickstoff (N<sub>u</sub>) und basischen Kationen (Bc<sub>u</sub>) in die Biomasse

In den Wald-LRT ist laut Managementplanung eine naturnahe Waldbewirtschaftung vorgesehen (vgl. Kap. 3.4.1 und Kap. 3.4.3), so dass der im Derbholz gespeicherte N- und Bc-Gehalt mit der Holzernte entzogen wird. Die N- und Bc-Aufnahmerate in die oberirdische pflanzliche Biomasse (N<sub>u</sub>, Bc<sub>u</sub>) wird aus der dauerhaften Biomasse und dem Gehalt an Stickstoff bzw. an Kalzium-, Kalium- und Magnesium-Ionen in der Biomasse der dauerhaften Kompartimente der Gehölz-Biotope ermittelt. Für Gehölzbiotope wird nur der in der Biomasse festgelegte Stickstoff, der durch langlebige Biomasse dem System entzogen wird, also die Menge an Derbholz, nicht aber der Streufall berücksichtigt.

Die Offenland-LRT-Flächen müssen regelmäßig, wenn auch nicht häufig, gemäht oder beweidet werden, um den LRT-Charakter zu erhalten und einer Verbuschung und Sukzession entgegen zu wirken (vgl. Kap. 3.4.1 und Kap. 3.4.3). Die Berechnungsgrundlagen und -methoden sind in Schlutow et al. (2018) analog zu BMVBS (2013) dokumentiert.

N<sub>u</sub> und Bc<sub>u</sub> für genutzte bzw. durch Biomasseentzug gepflegte LRT ergeben sich somit in diesem Projekt aus dem geschätzten Biomasseertrag bzw. durch den Jahreszuwachs an Biomasse (E), multipliziert mit den Durchschnittsgehalten an Nährelementen.

$$Bc_u = E * (Ca + Mg + K)_{\text{Gehalt}}$$

$$N_u = E * N_{\text{Gehalt}}$$

Allerdings kann der Entzug die verfügbaren Raten an Nährstoffen nicht übersteigen. Deshalb sind gegebenenfalls folgende Korrekturen notwendig:

$$\text{wenn } Bc_u > Bc_w + Bc_{\text{dep}}^*, \text{ dann } Bc_{u(\text{korr})} = Bc_w + Bc_{\text{dep}}^*, \text{ ansonsten } Bc_{u(\text{korr})} = E * (Ca + Mg + K)_{\text{Gehalt}}$$

$$\text{wenn } N_u > N_{\text{dep}}, \text{ dann } N_{u(\text{korr})} = N_{\text{dep}}, \text{ ansonsten } N_{u(\text{korr})} = E * N_{\text{Gehalt}}$$

Für die Beurteilungspunkte (BP) ergeben sich demzufolge Entzugsraten in Abhängigkeit von Bodenform und Vegetationszeitlänge (vgl. Kap. 3.1) sowie von der Hauptbaumart bzw. Vegetationstyp des Offenlandes wie folgt (Tab. 12):

Tab. 12: Ertrag (E) und klimakorrigierte Entzugsraten  $N_{u(korr)}$  und  $Bc_{u(korr)}$  in Abhängigkeit von Bodenform, Vegetationszeitlänge und Hauptbaumart bzw. Vegetationstyp des Offenlandes

BP	LRT	Hauptbaumart bzw. Vegetationstyp des Offenlandes	E	$N_{u(korr)}$	$Bc_{u(korr)}$
			t TS ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	eq Ca+K+Mg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
1	2310	Heiden	1,24	8,75	410
2	2330	Magerrasen	1,22	15,09	533
3	2330	Magerrasen	1,22	15,09	533
4	2330	Magerrasen	1,23	15,21	537
5	2330	Magerrasen	1,23	15,21	537
6	2330	Magerrasen	1,35	16,71	590
7	2330	Magerrasen	1,35	16,71	590
8	6230*	Heiden	1,24	8,82	413
9	2330	Magerrasen	1,22	15,09	533
10	6510	Frischwiesen/Frischweiden	1,34	18,51	694
11	6510	Frischwiesen/Frischweiden	1,34	18,51	694
12	6510	Frischwiesen/Frischweiden	1,46	20,08	753
13	6510	Frischwiesen/Frischweiden	1,34	18,51	694
14	6510	Frischwiesen/Frischweiden	1,34	18,51	694
15	6510	Frischwiesen/Frischweiden	1,34	18,51	694
16	9110	Rotbuche	3,82	5,89	562
19	9110	Rotbuche	4,61	7,10	678
20	9110	Rotbuche	4,57	7,04	672
21	9110	Rotbuche	4,10	6,32	603
22	9110	Rotbuche	4,11	6,33	605
23	9110	Rotbuche	4,08	6,29	600
24	9110	Rotbuche	4,08	6,29	600
25	9130	Rotbuche	3,82	5,89	562
26	9130	Rotbuche	3,82	5,89	562
27	9130	Rotbuche	4,57	7,04	672
28	9160	Hainbuche	4,30	6,62	632
29	9160	Hainbuche	5,24	8,07	770
30	9160	Hainbuche	5,24	8,07	770
31	9160	Hainbuche	5,10	7,85	750
32	9160	Hainbuche	4,62	7,12	680
33	9160	Hainbuche	4,70	7,24	692
34	9160	Hainbuche	4,57	7,04	673
35	9160	Hainbuche	5,00	7,69	735
36	9160	Hainbuche	5,65	8,70	831
37	9110	Rotbuche	4,07	6,27	599
38	9160	Hainbuche	5,06	7,79	744
39	9160	Hainbuche	5,10	7,85	750
40	9190	Traubeneiche	2,88	6,05	475
41	9190	Traubeneiche	2,88	6,05	475
42	9190	Traubeneiche	2,88	6,05	475
43	9190	Traubeneiche	3,66	7,68	604
44	9190	Traubeneiche	3,70	7,76	610
45a	9190	Stieleiche	3,18	6,68	525

BP	LRT	Hauptbaumart bzw. Vegetationstyp des Offenlandes	E	N <sub>u(korr)</sub>	Bc <sub>u(korr)</sub>
			t TS ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	eq Ca+K+Mg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
45b	9190	Hainbuche	4,62	7,12	680
46a	9190	Stieleiche	3,49	7,33	576
46b	9190	Bergahorn	3,31	4,63	472
47	9190	Traubeneiche	3,17	6,65	523
48	9190	Stieleiche	3,17	6,65	466
49	9190	Traubeneiche	0,00	0,00	0
50	91E0*	Roterle	0,00	0,00	0
51a	9160	Hainbuche	0,00	0,00	0
51b	9160	Bergahorn	0,00	0,00	0
52	91E0*	Roterle	0,00	0,00	0

#### 5.4 Akzeptable N-Auswaschungsrate mit dem Sickerwasser (N<sub>le(acc)</sub>)

Der verbleibende Rest an deponiertem und mineralisiertem Stickstoff, der nicht von Pflanzen aufgenommen, durch Denitrifikation in die Atmosphäre ausgegast oder durch Immobilisierung im Humus akkumuliert wird, steht einer Auswaschung mit dem Niederschlag aus dem Bodenwasser in die tieferen Schichten und letztendlich ins Grundwasser zur Verfügung (= Austrag mit dem Sickerwasser N<sub>le(acc)</sub>). Zum Schutz der Pflanzen darf die N-Konzentration im durchwurzelten Bodenraum ein unschädliches Maß nicht überschreiten. Im revidierten Mapping Manual (CLRTAP 2017) sind kritische Konzentrationen [N]<sub>crit</sub> in der Bodenlösung für verschiedene Vegetationsformen angegeben (Tab. 13).

Tab. 13: Kritische (akzeptable) N-Konzentrationen in der Bodenlösung zur Berechnung von CL<sub>eut</sub>(N) (CLRTAP 2017)

Belastung	N <sub>acc</sub> [mgN l <sup>-1</sup> ]
<i>Vegetationsänderung (Daten erhoben in Schweden):</i>	
Flechten zu Preiselbeere	0,2 - 0,4
Preiselbeere zu Blaubeere	0,4 - 0,6
Blaubeere zu Gras	1 - 2
Gras zu krautigen Pflanzen	3 - 5
<i>Vegetationsänderung (Daten erhoben in den Niederlanden):</i>	
Kraurvegetation im Nadelwald	2,5 - 4
Krautvegetation im Laubwald	3,5 - 6,5
Grünland	3
Heidelandschaften	3 - 6
<i>Andere Belastungen auf Wälder:</i>	
Nährstoffungleichgewichte	(0,2 - 0,4)
Erhöhte Stickstoffauswaschung/N-Sättigung	1
Feinwurzelbiomasse/Durchwurzelungstiefe	1 - 3
Frostempfindlichkeit und Pilzkrankheiten	3 - 5

Die kritische Konzentration im Bodenwasser (in kg N m<sup>-3</sup>) der durchwurzelten Zone wird multipliziert mit der Sickerwasserrate (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>).

Die Sickerwasserrate wird wie folgt bestimmt:

$$N_{le(acc)} = PS \cdot [N]_{crit}$$

wobei:

$$N_{le(acc)} = \text{tolerierbare Stickstoffaustragsrate mit dem Sickerwasser [kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

PS = Sickerwasserrate (Differenz aus Niederschlag und Evapotranspiration) [ $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ]

$[\text{N}]_{\text{crit}}$  = Grenz-Konzentration in Abhängigkeit von der Empfindlichkeit des jeweils betrachteten Schutzgutes [ $\text{kg N m}^{-3}$ ]

Die Sickerwasserrate (unterirdischer Abfluss) ergibt sich aus der Differenz von Gesamtabfluss und oberirdischem Abfluss nach folgender Gleichung.

$$PS = A_{\text{ges}} - A_{\text{O}}$$

wobei:

PS = mittlerer jährlicher unterirdischer Abfluss (Sickerwasserrate) [ $\text{m}^3 \text{a}^{-1}$ ]

$A_{\text{ges}}$  = mittlere jährliche Gesamtabflussmenge [ $\text{m}^3$ ]

$A_{\text{O}}$  = mittlere jährliche oberirdische Abflussmenge [ $\text{m}^3$ ]

Der Berechnung des Gesamtabflusses liegt die Methodik von Renger et al. (1990) zugrunde. Diese beruht auf der vereinfachten Wasserhaushaltsgleichung auf der Basis mehrjähriger Mittel (hier 1961 – 1990):

$$A_{\text{ges}} = N_j - V$$

mit:

$N_j$  = mittlerer Jahresniederschlag ( $\text{m}^3$ )

$V$  = mittlere jährliche Verdunstung ( $\text{m}^3$ )

Die Verdunstungshöhe wird mit nutzungsabhängigen Regressionsgleichungen unter Berücksichtigung der Verteilung der Niederschläge auf das Sommer- und Winterhalbjahr, des pflanzenverfügbaren Bodenwassers, der potenziellen Evapotranspiration nach Wendland & Kunkel (1998) und eines Korrekturfaktors für Hangneigung und Exposition berechnet. Der Anteil des Oberflächenabflusses wurde in Abhängigkeit von der Jahresniederschlagsmenge nach der Methodik von Bach (1987) entsprechend folgender Gleichung abgeschätzt.

$$A_{\text{O}} = A_{\text{ges}} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot (N_j - 500)^{1,65}$$

Die Jahresniederschlagsmenge ist sowohl mit der Häufigkeit von Starkniederschlägen als auch mit dem Anteil des Schneeniederschlages positiv korreliert. Außerdem ist in den niederschlagsreichen Gebieten mit einer höheren Bodenfeuchte zu rechnen, was, wie die übrigen genannten Faktoren, die Bildung eines Oberflächenabflusses begünstigt. Für Waldgebiete wird angenommen, dass kein nennenswerter Oberflächenabfluss stattfindet.

Tab. 14: Eingangsdaten und Ergebnis der Berechnung der akzeptablen N-Auswaschungsrate  $N_{\text{le(acc)}}$

BP	LRT	Ziel-Pflanzengesellschaft	$[\text{N}]_{\text{crit}}$	Sickerwasserrate	$N_{\text{le(acc)}}$
			$\text{kg N m}^{-3}$	$\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$	$\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$
1	2310	Genisto pilosae-Callunetum OBERD. 1938	0,004	1688	6,75
2	2330	Airo caryophylleae-Festucetum ovinae TX. 1955	0,0003	1688	0,51
3	2330	Airo caryophylleae-Festucetum ovinae TX. 1955	0,0003	1688	0,51
4	2330	Spergulo-Coryneporetum canescentis (typ. Sub-ass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	0,0003	1602	0,48
5	2330	Agrostietum coarctatae KOBENDZA 1930 (= Agrostietum vinealis KOB. 1930)	0,0003	1602	0,48
6	2330	Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933	0,0003	1602	0,48
7	2330	Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933	0,0003	1602	0,48
8	6230*	Polygalo-Nardetum strictae (PRSG. 1953) OBERD. 1957	0,0015	1558	2,34

BP	LRT	Ziel-Pflanzengesellschaft	[N] <sub>crit</sub>	Sickerwas- serrate	N <sub>le(acc)</sub>
			kg N m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
9	2330	Spergulo-Corynephorretum canescentis (Cladonia-Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	0,0003	1602	0,48
10	6510	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	0,003	1602	4,81
11	6510	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	0,003	1602	4,81
12	6510	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	0,003	1602	4,81
13	6510	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	0,003	1570	4,71
14	6510	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	0,003	1570	4,71
15	6510	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	0,003	1570	4,71
16	9110	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	0,005	1215	6,08
19	9110	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	0,005	1201	6,01
20	9110	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	0,005	1172	5,86
21	9110	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	0,003	1121	3,36
22	9110	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	0,003	1109	3,33
23	9110	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	0,003	1175	3,53
24	9110	Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrum filix-femina-Subass.) MEUSEL 1937	0,004	1175	4,70
25	9130	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) SOUGNEZ et THILL 1959	0,005	1215	6,08
26	9130	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) SOUGNEZ et THILL 1959	0,005	1215	6,08
27	9130	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) SOUGNEZ et THILL 1959	0,005	1215	6,08
28	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1139	3,42
29	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1139	3,42
30	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1139	3,42
31	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1175	3,53
32	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1109	3,33
33	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1139	3,42
34	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1175	3,53
35	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1139	3,42
36	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1175	3,53
37	9110	Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrum filix-femina-Subass.) MEUSEL 1937	0,004	1175	4,70
38	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1175	3,53

BP	LRT	Ziel-Pflanzengesellschaft	[N] <sub>crit</sub>	Sickerwas- serrate	N <sub>le(acc)</sub>
			kg N m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
39	9160	Stellario holosteeae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1139	3,42
40	9190	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	0,005	1215	6,08
41	9190	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	0,005	1215	6,08
42	9190	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	0,005	1172	5,86
43	9190	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	0,005	1172	5,86
44	9190	Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958	0,005	1130	5,65
45a	9190	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	0,005	1093	5,47
45b	9190	Querco roboris-Carpinetum betuli TX. 1937 (typ. Subass.)	0,005	1093	5,47
46a	9190	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	0,005	1121	5,61
46b	9190	Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	0,005	1121	5,61
47	9190	Betulo-Quercetum petraeae (Molinia-Subass.) TX. 1937	0,005	1121	5,61
48	9190	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	0,005	1130	5,65
49	9190	Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958	0,005	1139	5,70
50	91E0*	Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	0,005	1139	5,70
51a	9160	Stellario holosteeae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	0,003	1139	3,42
51b	9160	Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	0,005	1139	5,70
52	91E0*	Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	0,005	1139	5,70

## 5.5 Freisetzungsrates basischer Kationen durch Verwitterung des Ausgangssubstrats

Die Freisetzung basischer Kationen durch Verwitterung ( $BC_w$ ), im Folgenden auch kurz als Verwitterungsrate bezeichnet, wird entsprechend Mapping Manual (CLRTAP 2017) im ersten Schritt anhand der Verknüpfung von Ausgangssubstrat und Tongehalt (Texturklasse) bestimmt. Die Texturklasse und die Substratklasse wurden den Bodenhorizonten des entsprechenden Referenzprofils aus der Datenbank der BÜK1000N zugeordnet und dann tiefenstufengewichtet über die durchwurzelt Gesamttiefe gemittelt. Die Datengrundlagen und Methoden sind in Schlutow et al. (2018) dokumentiert.

Ausgehend von lokalen Untersuchungen haben De Vries et al. (1990), De Vries et al. (1993) sowie Sverdrup et Warfvinge (1988) auf der Basis von Modellierungen Matrizen zur Bestimmung der Verwitterungsklasse aus den zuvor erläuterten Parametern Substratklasse und Texturklasse erstellt (vgl. CLRTAP 2017). Das Manual (CLRTAP 2017) enthält folgende Matrix zur Bestimmung der Verwitterungsklasse aus den zuvor erläuterten Parametern Substratklasse und Texturklasse erstellt (vgl. Tab. 15).

Tab. 15: Matrix zur Bestimmung der Verwitterungsklasse ( $W_{(class)}$ ) aus der Substrat- und Texturklasse (CLRTAP 2017)

Verwitterungsklasse:	Texturklasse				
	1	2	3	4	5
Substratklasse					
1 sauer	1	3	5	6	6
2 neutral	2	4	6	6	6

Verwitterungsklasse:	Texturklasse				
	3 basisch	2	5	6	6
0 organisch	$W_{(class)} = 6$ für basenreich, ansonsten $W_{(class)} = 1^5$				

De Vries et al. (1993) haben für die Ableitung der Verwitterungsrate als Term des Critical Loads eine Bodenschicht von 0,5 m zugrunde gelegt. Die von der Hauptwurzeltracht eines Vegetationstyps durchwurzelte Tiefe kann aber deutlich davon abweichen. Deshalb wurden die Verwitterungsraten für die BP im UG über die Horizonte berechnet und anschließend gemittelt, die tatsächlich hauptsächlich durchwurzelt sind.

Die Durchwurzelungstiefe ergibt sich zunächst aus der physiologisch bedingten potenziellen Wurzellänge der Baumarten bzw. der dominanten Offenlandarten, die jedoch begrenzt wird von nicht durchwurzelbaren Bodenhorizonten, wie zum Beispiel Fels oder sauerstofffreie Grundwasserhorizonte.

Eine weitere Modifizierung ergibt sich aus der Abhängigkeit der Verwitterungsrate auch von der Differenz der lokalen Temperatur zur Durchschnittstemperatur, die den Verwitterungsraten nach De Vries et al. (1993) zugrunde lag ( $8\text{ °C} = 281\text{ K}$ ). Die temperatur- und wurzeltiefenkorrigierte Verwitterungsrate wird unter Einbeziehung der tatsächlichen Durchwurzelungstiefe nach folgender Gleichung berechnet (CLRTAP 2017<sup>6</sup>):

$$BC_w(T) = z \cdot 500 \cdot (W_{(class)} - 0,5) \cdot 10^{\frac{A}{281} - \frac{A}{273+T}}$$

wobei:

$BC_w(T)$  = temperaturkorrigierte Verwitterungsrate [ $\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ]

$z$  = durchwurzelte Tiefe [m]

$W_{(class)}$  = Verwitterungsklasse

$T$  = Jahresmitteltemperatur im 30-jährigen Mittel 1981-2010 nach DWD 2011 [°C]

$A$  = Quotient aus Aktivierungsenergie und idealer Gaskonstante (= 3600 K)

Dem Manual (CLRTAP 2004, 2014, 2017) entsprechend wurde die Verwitterungsrate basischer Kationen zunächst als Summe über alle vorkommenden basischen Kationen bestimmt ( $BC_w = \text{Ca} + \text{K} + \text{Mg} + \text{Na}$ ). Da Natrium aber kein Pflanzennährstoff ist, muss der Anteil von Natrium an der Freisetzungsrate abgezogen werden, um  $Bc_w$  zu bestimmen. Der Anteil der pflanzenverfügbaren basischen Kationen  $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$  ( $Bc_w$ ) beträgt laut Manual (CLRTAP 2004, 2014, 2017) ca. 70 % bei nährstoffarmen Böden und bis zu 85 % bei nährstoffreichen Böden.

Nach diesen Methoden entsprechend Mapping-Manual (CLRTAP 2017, vgl. auch Schlutow et al. 2018) ergeben sich für die Beurteilungspunkte folgende Freisetzungsraten von basischen Kationen durch Verwitterung des Ausgangssubstrats (Tab. 16).

<sup>5</sup> Für Humusaufgaben wird nunmehr abweichend von BMVBS 2013 die Verwitterungsklasse 1 (ggf. auch 6) zugeordnet. Damit weicht die Berechnungsgrundlage in diesem Projekt auch vom Sachverständigenvotum im sog. Trianel-Verfahren vor dem OVG Münster 2016 ab.

<sup>6</sup> Im revidierten Manual (CLRTAP 2017, S. V.42) ist nunmehr die Formel für die Berechnung der Verwitterungsrate eindeutig klargestellt. Die unvollständige Schreibweise dieser Formel in den Vorgängerversionen des Manuals (CLRTAP 2004, 2014) gab im Rahmen des Trianel-Verfahrens vor dem OVG Münster 2016 Anlass zu dem Missverständnis der Sachverständigen, die Potenz beziehe sich nicht auf die Basis 10.

Tab. 16: Freisetzungsraten von basischen Kationen  $BC_w$  (Ca+K+Mg+Na) und  $Bc_w$  (Ca+K+Mg) durch Verwitterung des Ausgangssubstrats an den Beurteilungspunkten (BP)

BP	LRT	Bodenform	Verwitterungs- klasse	Durch- wurze- lungs- tiefe	$BC_w$	$Bc_w$
				cm		
1	2310	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	5	50	1459	1132
2	2330	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	5	60	1751	1358
3	2330	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	5	60	1751	1358
4	2330	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	5	60	1769	1372
5	2330	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	5	60	1769	1372
6	2330	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	5	60	1769	1403
7	2330	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	5	60	1769	1403
8	6230*	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	50	1474	1144
9	2330	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	5	40	1167	906
10	6510	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	5	40	1179	915
11	6510	Braunerde; erodiert;	5	40	1179	915
12	6510	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	5	40	1179	935
13	6510	Gley oder Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment über 50-90 cm Altem Hochflutlehm bis -ton über Terrassensand (qp)	5	40	1179	915
14	6510	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	40	1179	915
15	6510	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	35	1032	801
16	9110	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	5	80	2335	1783
19	9110	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	4	80	1835	1468

BP	LRT	Bodenform	Verwitterungs- klasse	Durch- wurze- lungs- tiefe	BC <sub>w</sub>	Bc <sub>w</sub>
				cm		
20	9110	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	4	80	1816	1453
21	9110	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	60	1769	1372
22	9110	Gley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	4	80	1854	1436
23	9110	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	4	60	1376	1066
24	9110	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	4	80	1835	1422
25	9130	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	5	80	2335	1783
26	9130	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	5	70	2043	1560
27	9130	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	4	80	1816	1453
28	9160	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	5	100	2949	2252
29	9160	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	4	100	2293	1835
30	9160	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	4	100	2293	1835
31	9160	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	5	100	2949	2343
32	9160	Gley-Braunerde, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	4	100	2317	1795
33	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	5	100	2949	2298
34	9160	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment (qp) oder Hochflutlehm (	5	100	2918	2264

BP	LRT	Bodenform	Verwitterungs- klasse	Durch- wurze- lungs- tiefe	BC <sub>w</sub>	Bc <sub>w</sub>
				cm		
		qp- qh) über Altem Hochflutlehm bis -ton, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)				
35	9160	Pseudogley; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	4	100	2293	1813
36	9160	Gley; >120 cm Lehm bis Ton der Bach- und Alt-läufe ( qp- qh)/2	6	60	2162	1765
37	9110	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	70	2043	1585
38	9160	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	5	80	2335	1856
39	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	5	100	2949	2343
40	9190	Syrose, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	5	80	2335	1783
41	9190	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	5	130	3794	2897
42	9190	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	5	130	3794	2897
43	9190	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	4	130	2951	2361
44	9190	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <50cm äolischem und fluviatilem Sand, über teilweise carbonathaltigem Älterem Hochflutsand bis Lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	4	120	2752	2202
45a	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	4	130	3012	2334
45b	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	4	100	2317	1795
46a	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment ( Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	4	130	2981	2357
46b	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment ( Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	4	90	2064	1632

BP	LRT	Bodenform	Verwitterungs- klasse	Durch- wurze- lungs- tiefe	BC <sub>w</sub>	Bc <sub>w</sub>
				cm		
47	9190	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	130	3833	2974
48	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	50	1474	1144
49	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	80	2359	1566
50	91E0*	Anmoorgley; 60-120 cm Altlaufion ( qp- qh) über Terrassensand (qp)	6	50	1802	1197
51a	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	70	2064	1371
51b	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	5	70	2064	1371
52	91E0*	Anmoorgley; 60-120 cm Altlaufion ( qp- qh) über Terrassensand (qp)	6	70	2523	1675

## 5.6 Deposition basischer Kationen und Chlorid-Ionen

Zu den Eingangsdaten für die Modellierung der Critical Loads für Versauerung zählen Angaben zur Deposition von basischen Kationen. Diese wurden im Rahmen des UBA-Projektes „Ermittlung und Bewertung der Einträge von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen in terrestrische Ökosysteme PINET13 (Schaap et al. 2018) für den Zeitraum 2013 bis 2015 ermittelt (Tab. 17).

Tab. 17: Hintergrunddepositionen basischer Kationen (\*seesalzkorrigiert), Mittelwert aus 2013-2015 (Schaap et al. 2018)

BP	LRT	Landnutzung	Ca <sub>dep</sub>	K <sub>dep</sub>	Mg <sub>dep</sub>	Ca* <sub>dep</sub>	K* <sub>dep</sub>	Mg* <sub>dep</sub>
			eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>					
1	2310	Natürliche Vegetation	133	43	61	126	40	16
2	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	64	23	27	61	21	7
3	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	64	23	27	61	21	7
4	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	61	22	26	58	20	7
5	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	61	22	26	58	20	7
6	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	61	22	26	58	20	7
7	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	61	22	26	58	20	7

BP	LRT	Landnutzung	Ca <sub>dep</sub>	K <sub>dep</sub>	Mg <sub>dep</sub>	Ca* <sub>dep</sub>	K* <sub>dep</sub>	Mg* <sub>dep</sub>
			eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>					
8	6230*	Wiesen/Weiden	65	23	27	61	22	7
9	2330	Offene Flächen mit geringer Vegetation	64	23	27	61	21	7
10	6510	Wiesen/Weiden	62	22	26	59	21	7
11	6510	Wiesen/Weiden	62	22	26	59	21	7
12	6510	Wiesen/Weiden	62	22	26	59	21	7
13	6510	Wiesen/Weiden	65	23	27	61	22	7
14	6510	Wiesen/Weiden	65	23	27	61	22	7
15	6510	Wiesen/Weiden	65	23	27	61	22	7
16	9110	Laubwald	74	26	31	70	24	8
19	9110	Laubwald	72	25	30	68	23	8
20	9110	Laubwald	74	26	31	70	24	8
21	9110	Laubwald	73	26	30	69	24	8
22	9110	Laubwald	73	26	30	69	24	8
23	9110	Laubwald	72	26	30	68	24	8
24	9110	Laubwald	72	26	30	68	24	8
25	9130	Laubwald	74	26	31	70	24	8
26	9130	Laubwald	74	26	31	70	24	8
27	9130	Laubwald	74	26	31	70	24	8
28	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
29	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
30	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
31	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
32	9160	Laubwald	73	26	30	69	24	8
33	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
34	9160	Laubwald	74	26	31	70	24	8
35	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
36	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
37	9110	Laubwald	74	26	31	70	24	8
38	9160	Laubwald	74	26	31	70	24	8
39	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
40	9190	Laubwald	74	26	31	70	24	8
41	9190	Laubwald	74	26	31	70	24	8
42	9190	Laubwald	73	26	31	70	24	8
43	9190	Laubwald	73	26	31	70	24	8
44	9190	Laubwald	75	26	31	70	24	8
45a	9190	Laubwald	70	25	29	66	23	8
45b	9190	Laubwald	70	25	29	66	23	8
46a	9190	Laubwald	73	26	30	69	24	8
46b	9190	Laubwald	73	26	30	69	24	8
47	9190	Laubwald	73	26	30	69	24	8
48	9190	Laubwald	73	26	31	69	24	8
49	9190	Laubwald	72	26	30	68	24	8
50	91E0*	Laubwald	72	26	30	68	24	8
51a	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
51b	9160	Laubwald	72	26	30	68	24	8
52	91E0*	Laubwald	72	26	30	68	24	8

Im BAST-Forschungsbericht (BMVBS 2013) wird die Auffassung vertreten<sup>7</sup>, dass die Deposition basischer Kationen nur aus natürlichen Quellen (z.B. aus dem Meersalzspray in Norddeutschland und aus dem Saharastaub in Süddeutschland) als Säureneutralisationskapazität bei der Ermittlung des CL für versauernde Einträge angerechnet werden sollten. Als Begründung wird ausgeführt, dass die Verwendung anthropogener basischer Fremdstoffeinträge zur Neutralisation der versauernden anthropogenen Fremdstoffeinträge aus umweltethischen Gründen fragwürdig ist. Die positive Anrechnung anthropogen erzeugter basischer Kationen (z.B. aus Flugasche u.a. basischen Stäuben) als Säureneutralisationskapazität würde der „Ausreibung des Teufels mit dem Beelzebub“ gleichkommen. Auch im Manual (CLRTAP 2017, S. V-28) wird zur Vereinfachung der Critical Loads-Ermittlung vorgeschlagen, die nicht anthropogenen Anteile der Deposition basischer Kationen (z.B. aus Seesalz oder/und Sahara-Staub), die durch Luftreinhaltemaßnahmen nicht beeinflussbar sind, in die Critical Load-Berechnung einzustellen.

Gleichwohl wird im Mapping Manual (CLRTAP 2004, 2014, 2017) für die nationale Berichterstattung über den Erfüllungsstand des CLRTAP an die UNECE die Berechnung des CL für Säureeinträge mit den seesalzkorrigierten Depositionen basischer Kationen, d. h. nur mit den anthropogenen Einträgen (z.B. Flugaschestaub aus Kohle- oder Holz-Verbrennungsanlagen) empfohlen, weil auf politischer Ebene nur auf die seesalzkorrigierten Schwefelverbindungen durch Maßnahmen zur Luftreinhaltung bzw. Emissionsminderung Einfluss genommen werden kann. Begründet wird diese Empfehlung damit, dass die Critical Loads für versauernde Einträge mit anthropogen verursachten versauernden Einträgen zu vergleichen sind, d. h. mit den Schwefel-Depositionen ohne die Anteile aus dem Seesalzspray. Deshalb empfiehlt das Manual eine Seesalzkorrektur bei der Depositionsberechnung für Kalzium-, Kalium-, Magnesium-, Natrium-Ionen, Schwefel und Chlorid. Auch sollten in der nationalen Luftreinhaltestrategie hohe Einträge von Natrium-Ionen aus dem Seesalz in küstennahen Regionen nicht als Argument für den Verzicht auf Reduktionsmaßnahmen versauernder Einträge geltend gemacht werden dürfen. Im Mapping Manual (CLRTAP 2004, 2014, 2017) wird daher empfohlen, bei der Berechnung des CL(S+N) nur die seesalzkorrigierte Deposition der Basen und die seesalzkorrigierte Cl-Deposition, d.h. nur die anthropogen verursachten Depositionen, einfließen zu lassen.

Das OVG Münster ist im sogenannten Trianel-Verfahren im Urteil vom 16.6.2016 der Auffassung der Sachverständigen gefolgt, dass nur der anthropogen erzeugte Anteil der Deposition von Basen und Chlorid in der CL-Berechnung berücksichtigt werden sollte. Ebenso ist das OVG der Auffassung, dass der Meereseinfluss bei der Natriumdeposition nach dem ihm bekannten Kartenmaterial des Umweltbundesamts überwiegt und nicht in nennenswertem Umfang von anthropogenen oder anderen Einträgen überlagert wird und deshalb auf 0 zu setzen ist.

Dies gilt aber auch für die Deposition von Chloriden, die nach dem Kartenmaterial des UBA ebenfalls mit zunehmendem Abstand von der Küste abnimmt (vgl. Schlutow et al. 2018). Konsequenterweise muss dann auch hier die Annahme gelten, dass nur meerbürtige Quellen für Cl eine Rolle spielen, die dann ebenfalls zu vernachlässigen sind.

Wie auch immer, der Depositions-Datensatz für die Jahre 2013-2015 enthält keine Seesalzkorrektur für Na und Cl. Deshalb wird für dieses Projekt vorsorglich konservativ analog zum deutschen Datensatz der Critical Loads (Schlutow et al. 2018) in Absprache mit dem UBA der gesamte Natriumeintrag und sämtliche Chlorid-Einträge in der CL-Berechnung vernachlässigt.

Es gilt daher:

$$\text{Na}_{\text{dep}} = \text{Na}^*_{\text{dep}} \text{ und } \text{Cl}_{\text{dep}} = \text{Cl}^*_{\text{dep}} = 0$$

$$\text{und } \text{BC}^*_{\text{dep}} = \text{Bc}^*_{\text{dep}} = \text{Ca}^*_{\text{dep}} + \text{K}^*_{\text{dep}} + \text{Mg}^*_{\text{dep}}$$

Bei Frankfurt (Main) werden die Critical Loads somit mindestens um  $125 \text{ eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei Vernachlässigung des Eintrags basischer Kationen aus dem Seesalz unterschätzt.

<sup>7</sup> Die Autorin des entsprechenden Kapitels im BAST-FE-Bericht ist auch die Autorin des hier vorliegenden Projektberichtes.

Hauptsächlich in Süddeutschland, aber auch in ganz Deutschland bis nach Schweden, führt zusätzlich die vom OVG Münster (2016) geforderte Vernachlässigung des Saharastaub-Eintrages zu einer weiteren Unterschätzung der Neutralisationskapazität des natürlichen basischen Staubes in der Luft. In etwa 5-15 Saharastaub-Ereignissen pro Jahr, die sich über etwa 10-60 Tage erstrecken, wird Saharastaub nach Mitteleuropa transportiert (DWD 2019<sup>8</sup>).

## 5.7 Kritische Auswaschungsrate von Säureneutralisationskapazität

### ANC<sub>le(crit)</sub>

#### 5.7.1 Modellansatz und Grundlagen

Eine vollständige Säureneutralisation findet im Boden statt, wenn ein Gleichgewicht zwischen basischen Ionen und sauren Ionen in der Bodenlösung herrscht (CLRTAP 2004, 2014, 2017):

$$[H]^+ + [Al]^{3+} + [Bc]^+ + [NH_4]^+ = [SO_4]^- + [NO_3]^- + [HCO_3]^- + [RCOO]^-$$

$[RCOO]^-$  = Konzentration organischer Anionen [eq m<sup>-3</sup>]

$[HCO_3]^-$  = Konzentration von Hydrogencarbonationen [eq m<sup>-3</sup>]

Als Maß für die Säureneutralisationskapazität kann die Konzentration der basischen Reaktionsprodukte des Neutralisationsvorganges in der Bodenlösung herangezogen werden (CLRTAP 2004, 2014, 2017):

$$[ANC]_{le} = +[HCO_3]_{le} + [RCOO]_{le} - [H]^+_{le} - [Al]^{3+}_{le}$$

Die Berechnung von  $[HCO_3]_{le} + [RCOO]_{le}$  wird im Manual als optionale Erweiterung des Einfachen-Massenbilanz-Ansatzes vorgeschlagen. Die resultierenden Werte sind meist sehr klein. Unter besonderen Standortverhältnissen können sich aber nicht zu vernachlässigende Werte für  $[HCO_3]_{le}$  ergeben, die den Critical Load vermindern, während  $[RCOO]_{le}$  mit regelmäßig unter 1 eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> vernachlässigt werden kann. Im vorliegenden Projekt wird daher nur  $[HCO_3]_{le}$  berechnet (Kap. 5.7.2).

Anschließend ist die **Auswaschungsrate von  $[H]^+_{le}$  und  $[Al]^{3+}_{le}$**  zu berechnen. Diese sauren Kationen sind im engeren Sinne für die versauernden Wirkungen in den Ökosystemen verantwortlich. Ihre Konzentrationen in der Bodenlösung können kritische Werte annehmen, die bei der Berechnung der Critical Loads einbezogen werden müssen. Diese müssen daher durch die Setzung von Critical Limits (nach kritischen chemischen Kriterien – wie im Folgenden beschrieben) begrenzt werden.

Somit ergibt sich die kritische Auswaschungsrate von ANC:

$$ANC_{le(crit)} = -Al_{le(crit)} - H_{le(crit)} + HCO_{3le} = -PS \cdot ([AL]_{crit} + [H]_{crit} + [HCO_3]_{le})$$

wobei:

$[H]_{(crit)}$  = Kritische Konzentration H<sup>+</sup>-Ionen [eq m<sup>-3</sup>]

$[Al]_{(crit)}$  = Kritische Konzentration von Al<sup>3+</sup>-Ionen [eq m<sup>-3</sup>]

PS = Sickerwasserrate [m<sup>3</sup> a<sup>-1</sup>]

Das Verhältnis von H und Al wird als Gibbssit-Gleichgewicht wie folgt bestimmt:

$$[Al] = K_{gibb} \cdot [H]^3 \quad \text{or} \quad [H] = ([Al] / K_{gibb})^{1/3}$$

wobei  $K_{gibb}$  die Gibbssit-Gleichgewichts-Konstante ist und wie folgt eingesetzt wird:

- ▶ für sehr humusarme (<5% OM) mineralische Böden  $K_{gibb} = 950 \text{ m}^6 \text{ eq}^{-2}$ ,
- ▶ für humusarme (<15% OM) mineralische Böden  $K_{gibb} = 300 \text{ m}^6 \text{ eq}^{-2}$ ,
- ▶ für humusreiche (15-30 % OM) mineralische Böden  $K_{gibb} = 100 \text{ m}^6 \text{ eq}^{-2}$  und
- ▶ für Torfböden (>70% OM)  $K_{gibb} = 9,5 \text{ m}^6 \text{ eq}^{-2}$ .

<sup>8</sup> [https://www.dwd.de/DE/forschung/atmosphaerenbeob/zusammensetzung\\_atmosphaere/aerosol/inh\\_nav/saharastaub\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/forschung/atmosphaerenbeob/zusammensetzung_atmosphaere/aerosol/inh_nav/saharastaub_node.html)

Um  $ANC_{le(crit)}$  für die CL Versauerung zu berechnen, gibt es 4 Ansätze, die verschiedene Schutz-Kriterien auf Basis der Massenbilanz berücksichtigen (vgl. CLRTAP 2004, 2014, 2017):

- ▶ Kriterium 1: Schutz der Pflanzen vor Aluminium-Intoxikation
- ▶ Kriterium 2: Erhaltung des bodentypischen pH-Pufferbereiches
- ▶ Kriterium 3: Erhaltung der Boden-Stabilität
- ▶ Kriterium 4: Erhaltung einer vegetationspezifischen akzeptablen Basensättigung

### Variantenvergleich

Der Critical Load zum Schutz vor Versauerung wird nach allen 4 Kriterien gesondert berechnet. Um die jeweils empfindlichste Komponente des Ökosystems wirksam mit Hilfe des Critical Loads zu schützen, ist nun ein Vergleich der Ergebnisse der 4 CL-Varianten notwendig.

Als Critical Load für Versauerung (CL(S+N)) wird der niedrigste Wert, der sich für ein Ökosystem aus den Variantenrechnungen ergibt, übernommen:

$$CL(S+N) = \min\{CL(S+N) (1); CL(S+N) (2); CL(S+N) (3); CL(S+N) (4)\}$$

### 5.7.2 Auswaschungsrate von Hydrogenkarbonat

Die Auswaschungsrate von Hydrogenkarbonat kann nach folgenden Formeln berechnet werden (CLRTAP 2004, 2014, 2017):

$$HCO_{3,le} = PS [HCO_3]$$

$$[HCO_3] = \frac{K_1 \cdot K_H \cdot p_{CO_2}}{[H]}$$

wobei:

$K_1$  = 1. Dissoziations-Konstante

$K_H$  = Henrys Konstante

$p_{CO_2}$  = Partialdruck von  $CO_2$  in der Bodenlösung (im Mittel das 15fache des Drucks über dem Boden)

$K_1 \cdot K_H = 0,02 \text{ eq}^2 \text{ m}^{-6} \text{ atm}^{-1}$  bei  $8^\circ\text{C}$ . Da die Temperaturabhängigkeit nur schwach ausgeprägt ist (CLRTAP 2017) und die Abweichung im UG nur ca. 2 K beträgt, wird in Ermangelung einer entsprechenden empirischen Funktion der Referenzwert bei  $8^\circ\text{C}$  in die CL-Berechnung eingestellt.

$p_{CO_2}$  ist dagegen signifikant temperaturabhängig:

$$\log_{10} p_{CO_2} = -2.38 + 0.031 \cdot T$$

Die Ergebnisse der Berechnung an den Beurteilungspunkten (BP) zeigt Tab. 18.

Tab. 18: Ergebnisse der Berechnung von  $HCO_{3,le}$

BP	LRT	$HCO_{3,le}$ eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
1	2310	4,72
2	2330	4,72
3	2330	4,72
4	2330	28,46
5	2330	28,46
6	2330	28,46
7	2330	28,46
8	6230*	27,68
9	2330	28,26
10	6510	28,46

BP	LRT	HCO <sub>3,le</sub>
		eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
11	6510	451,12
12	6510	451,12
13	6510	8,82
14	6510	8,82
15	6510	8,82
16	9110	3,40
19	9110	1,35
20	9110	3,28
21	9110	1,26
22	9110	1,25
23	9110	0,33
24	9110	1,32
25	9130	3,40
26	9130	3,40
27	9130	3,40
28	9160	3,21
29	9160	6,40
30	9160	6,40
31	9160	6,60
32	9160	3,15
33	9160	20,24
34	9160	328,52
35	9160	20,24
36	9160	20,88
37	9110	1,31
38	9160	20,73
39	9160	320,74
40	9190	21,43
41	9190	3,40
42	9190	3,28
43	9190	3,28
44	9190	3,18
45a	9190	3,10
45b	9190	3,10
46a	9190	3,16
46b	9190	3,16
47	9190	3,16
48	9190	1,27
49	9190	1,28
50	91E0*	6,40
51a	9160	1,28
51b	9160	1,28
52	91E0*	1,28

### 5.7.3 Kriterium 1: Schutz der Pflanzen vor Intoxikation ( $Bc/Al_{crit}$ )

Eine zu hohe Al<sup>3+</sup>-Konzentration kann toxisch auf die Pflanzen des Ökosystems wirken, wenn nicht gleichzeitig genügend basische Kationen für die Pflanzen in der Bodenlösung zur Verfügung stehen. Grenzkriterium für den Verlust an Säureneutralisationskapazität ist deshalb das Verhältnis der durch Verwitterung freigesetzten pflanzenverfügbaren basischen Kationen  $Bc = Ca + Mg + K$  zu Al-Ionen. Diese Schwelle zur Schädigung ist pflanzenartsspezifisch unterschiedlich hoch. Die kritische Aluminium-Auswaschungsrate, die sich ergibt, wenn ein kritisches

(beginnend toxisch zu wirkendes)  $Bc/Al$ -Verhältnis in der empfindlichsten Charakter-Art des Vegetationstyps erreicht ist, lässt sich wie folgt ermitteln (CLRTAP 2004, 2014, 2017):

$$Al_{le(crit)} = 1,5 \cdot \frac{Bc_{le}}{(Bc/Al)_{crit}} = 1,5 \cdot \frac{Bc_{dep} + Bc_w - Bc_u}{(Bc/Al)_{crit}} - HCO_{3le}$$

Die Basenauswaschung  $Bc_{le}$  ergibt sich aus der Massenbilanz:

$$Bc_{le} = Bc_{dep} + Bc_w - Bc_u$$

wobei:

$$Bc_{le} = \text{Basenauswaschung [eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

$$Bc_{de} = \text{Rate der Deposition pflanzenphysiologisch wirksamer basischer Kationen, nicht see-salzkorrigiert (Ca, Mg, K) [eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

$$Bc_w = \text{Freisetzungsrates pflanzenphysiologisch wirksamer basischer Kationen durch Verwitterung [eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

$$Bc_u = \text{Netto-Aufnahmerate pflanzenphysiologisch wirksamer basischer Kationen durch die Vegetation [eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

$Bc_{le}$  muss mindestens  $0,01 \text{ eq m}^{-3}$  Bodenwasser betragen, sonst kann die Vegetation bei Unterschreitung dieser Minimum-Konzentration keine basischen Kationen mehr aufnehmen. D. h. folgende Prüfung wird durchgeführt:

$$\text{WENN}(Bc_{dep} + Bc_w - Bc_{u(korr)}) < 0,01 \cdot PS, \text{ dann } Bc_{le} = 0,01 \cdot PS, \text{ ansonsten } Bc_{le} = Bc_{dep} + Bc_w - Bc_{u(korr)}$$

Die Ermittlung der Verwitterungsrates basischer Kationen  $Bc_w$  wird in Kap. 5.5,  $Bc_{dep}$  in Kap. 0 und der Entzug basischer Kationen in Kap. 5.3 erläutert.

Durch Einsetzen in die Ausgangsgleichung ergibt sich in Anwendung der Massenbilanz folgende allgemeine Gleichung zur Bestimmung des kritischen Austrags von Protonen:

$$-ANC_{le(crit)} = PS^{2/3} \cdot \left( 1,5 \cdot \frac{Bc_{dep} + Bc_w - Bc_u}{K_{gibb} \cdot \left(\frac{Bc}{Al}\right)_{crit}} \right)^{\frac{1}{3}} + 1,5 \cdot \frac{Bc_{dep} + Bc_w - Bc_u}{\left(\frac{Bc}{Al}\right)_{crit}} - HCO_{3le}$$

Im revidierten Manual (CLRTAP 2017) ist nunmehr eine Tabelle enthalten, in der für ausgewählte Arten  $Bc/Al$ -Werte in Abhängigkeit von der Wachstumsdepressionsrate der Art angegeben werden. In diesem Projekt werden nunmehr abweichend von BMVBS (2013) die strengeren kritischen  $Bc/Al$ -Verhältnisse unter Berücksichtigung einer akzeptablen Wachstumsdepression von nicht mehr als 2 % angenommen (vgl. Tab. 19).

Tab. 19: Eingangsdaten und Ergebnisse der Berechnung von  $-ANC_{le(crit)}(1)$  zum Schutz der Pflanzen vor Intoxikation in Abhängigkeit von  $Bc/Al_{crit}$

BP	LRT	Hauptbaumart bzw. Vegetationstyp des Offenlandes	$Bc/Al_{crit}$	$-ANC_{le(crit)}(1)$
			eq/eq	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
1	2310	Heiden	10	255
2	2330	Magerrasen	6,4	309
3	2330	Magerrasen	6,4	309
4	2330	Magerrasen	6,4	307
5	2330	Magerrasen	6,4	345
6	2330	Magerrasen	6,4	339
7	2330	Magerrasen	6,4	339
8	6230*	Heiden	10	228
9	2330	Magerrasen	6,4	183

BP	LRT	Hauptbaumart bzw. Vegetationstyp des Offenlandes	Bc/Al <sub>crit</sub>	- ANC <sub>le(crit)</sub> (1)
			eq/eq	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
10	6510	Frischwiesen/Frischweiden	6,4	165
11	6510	Frischwiesen/Frischweiden	6,4	165
12	6510	Frischwiesen/Frischweiden	6,4	152
13	6510	Frischwiesen/Frischweiden	6,4	165
14	6510	Frischwiesen/Frischweiden	6,4	165
15	6510	Frischwiesen/Frischweiden	6,4	127
16	9110	Rotbuche	2,5	970
19	9110	Rotbuche	2,5	689
20	9110	Rotbuche	2,5	683
21	9110	Rotbuche	2,5	670
22	9110	Rotbuche	2,5	710
23	9110	Rotbuche	2,5	474
24	9110	Rotbuche	2,5	707
25	9130	Rotbuche	2,5	970
26	9130	Rotbuche	2,5	827
27	9130	Rotbuche	2,5	686
28	9160	Hainbuche	2,5	1214
29	9160	Hainbuche	2,5	861
30	9160	Hainbuche	2,5	861
31	9160	Hainbuche	2,5	1201
32	9160	Hainbuche	2,5	892
33	9160	Hainbuche	2,5	1206
34	9160	Hainbuche	2,5	1202
35	9160	Hainbuche	2,5	870
36	9160	Hainbuche	2,5	780
37	9110	Rotbuche	2,5	816
38	9160	Hainbuche	2,5	896
39	9160	Hainbuche	2,5	1197
40	9190	Traubeneiche	2,5	1025
41	9190	Traubeneiche	2,5	1728
42	9190	Traubeneiche	2,5	1723
43	9190	Traubeneiche	2,5	1305
44	9190	Traubeneiche	2,5	1198
45a	9190	Stieleiche	2,5	1327
45b	9190	Hainbuche	2,5	887
46a	9190	Stieleiche	2,5	1315
46b	9190	Bergahorn	2,5	921
47	9190	Traubeneiche	2,5	1734
48	9190	Stieleiche	2,5	612
49	9190	Traubeneiche	2,5	1180
50	91E0*	Roterle	2,5	946
51a	9160	Hainbuche	2,5	1056
51b	9160	Bergahorn	2,5	1056
52	91E0*	Roterle	2,5	1249

#### 5.7.4 Kriterium 2: Erhaltung des bodentypischen pH-Wertes (pH<sub>crit</sub>)

Versauernden Luftschadstoffeinträgen werden im Boden verschiedene Puffermechanismen entgegengesetzt. Die verschiedenen Puffermechanismen unterscheiden sich hinsichtlich der Puffersubstanzen, die für die Neutralisation von Säuren zur Verfügung stehen. Zur Kennzeich-

nung der Puffermechanismen und Pufferkapazität erfolgte die Zuordnung der Bodenformen zu Pufferbereichen nach Ulrich (1987).

Erst bei Über- bzw. Unterschreitung des Grenzwertes des Pufferbereiches reagiert der pH-Wert signifikant. Der natürliche Pufferbereich würde dabei verlassen werden, was zu einer Degradierung des Bodens führt. Ein Austrag von Säureneutralisationskapazität darf also bei allen Böden nur bis zur Erreichung der unteren Grenze des pH-Wertes des natürlichen Pufferbereiches zugelassen werden, zu dem die Bodenform nach Bodenart, Ausgangssubstrat und Horizontfolge im unbelasteten Zustand gehört.

Da gilt:

$$pH = -\log_{10}([H]_{crit})$$

wobei:

$[H]_{crit}$  = kritische Protonenkonzentration in der Bodenlösung [ $\text{eq l}^{-1}$ ]

ergibt sich:

$$-ANC_{le(crit)} = PS \cdot (K_{gibb} \cdot [H]_{crit}^3 + [H]_{crit}) - HCO_{3le}$$

Für die Bestimmung des kritischen pH-Wertes wurden die Referenzprofile der BÜK1000N herangezogen (vgl. Schlutow et al. 2018). Der kritische pH-Wert zum Schutz des Bodens wurde aus der unteren Spannungsgrenze der pH-Referenz-Werte der Pufferbereiche der Böden nach Ulrich (1987; vgl. Tab. 20) horizontweise abgeleitet und anschließend tiefenstufengewichtet bis zur Durchwurzelungstiefe gemittelt.

Tab. 20: Kritische untere Spannungsgrenze des  $pH_{(H_2O)}$ -Wertes für die Pufferbereiche der Böden (nach Ulrich 1987)

Puffersubstanz	$pH_{(H_2O)}$ -Bereich	niedrigster akzeptabler $pH_{(H_2O)}$ -Wert
Karbonat-Pufferbereich ( $\text{CaCO}_3$ )	8,6 - > 6,2	6,2
Silikat-Pufferbereich (primäre Silikate)	> 5,0	5,0
Austauscher-Pufferbereich Tonminerale	5 - 4,5	4,5
Austauscher-Pufferbereich Mangan-Oxide	5 - 4,2	4,2
Aluminium-Puffer (n $[\text{Al}(\text{OH})_x(3-x)^+]$ , Aluminium-Hydroxosulfate)	< 4,2	3,8
Aluminium-Eisen-Puffer (wie Aluminium-Puffer, „Boden- $\text{Fe}(\text{OH})_3$ “)	< 3,8	3,2
Eisen-Puffer (Eisenhydrit)	< 3,2	(2,8)

Für die Beurteilungspunkte im UG wurde ein Abgleich mit den Messwerten an den BP (Feldwisch 2012, vgl. Kap. 6.1) mit dem Ziel durchgeführt. Es ergeben sich demzufolge die  $pH_{crit}$  entsprechend Tab. 21.

Tab. 21: Eingangsdaten und Ergebnisse der Berechnung von  $-ANC_{le(crit)}(2)$  zur Erhaltung des bodentypischen Pufferbereiches ( $pH_{crit}$ )

BP	LRT	Bodenform	$K_{gibb}$	$pH_{crit}$	$-ANC_{le(crit)}(2)$
				-	$\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$
1	2310	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	300	4,2	234
2	2330	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	900	4,2	488

BP	LRT	Bodenform	K <sub>gibb</sub>	pH <sub>crit</sub>	- ANC <sub>le(crit)</sub> (2)
				-	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
3	2330	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	900	4,2	488
4	2330	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	900	5	17
5	2330	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	300	5	17
6	2330	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	300	5	17
7	2330	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	300	5	17
8	6230*	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	300	5	16
9	2330	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	900	5	17
10	6510	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	300	5	17
11	6510	Braunerde; erodiert;	300	6,2	1
12	6510	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	300	6,2	1
13	6510	Gley oder Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment über 50-90 cm Altem Hochflutlehm bis -ton über Terrassensand (qp)	300	4,5	65
14	6510	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	300	4,5	65
15	6510	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	300	4,5	65
16	9110	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	168
19	9110	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	300	3,8	1625
20	9110	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	162
21	9110	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	300	3,8	1517
22	9110	Gley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand)	300	3,8	1500

BP	LRT	Bodenform	K <sub>gibb</sub>	pH <sub>crit</sub>	- ANC <sub>le(crit)</sub> (2)
				-	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
		über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)			
23	9110	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	300	3,2	89285
24	9110	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	300	3,8	1590
25	9130	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	300	4,2	168
26	9130	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	168
27	9130	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) (örtl. über <50 cm äolischem oder fluvialem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	168
28	9160	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	300	4,2	158
29	9160	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	300	4,5	47
30	9160	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	300	4,5	47
31	9160	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	300	4,5	48
32	9160	Gley-Braunerde, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	154
33	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	300	5	12
34	9160	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment (qp) oder Hochflutlehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm bis -ton, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	300	6,2	1
35	9160	Pseudogley; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	300	5	12
36	9160	Gley; >120 cm Lehm bis Ton der Bach- und Altläufe ( qp- qh)/2	300	5	12
37	9110	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	300	3,8	1590
38	9160	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder	300	5	12

BP	LRT	Bodenform	K <sub>gibb</sub>	pH <sub>crit</sub>	- ANC <sub>le(crit)</sub> (2)
				-	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
		Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)			
39	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	300	6,2	1
40	9190	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	300	5	13
41	9190	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	168
42	9190	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	300	4,2	162
43	9190	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	162
44	9190	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <50cm äolischem und fluviatilem Sand, über teilweise carbonathaltigem Älterem Hochflutsand bis Lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	156
45a	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	151
45b	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	300	4,2	151
46a	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment ( Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	300	4,2	155
46b	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment ( Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	300	4,2	155
47	9190	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	300	4,2	155
48	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	300	3,8	1529
49	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	300	3,8	1541
50	91E0*	Anmoorgley; 60-120 cm Altlaufion ( qp- qh) über Terrassensand (qp)	300	4,5	47
51a	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm	300	3,8	1541

BP	LRT	Bodenform	K <sub>gibb</sub>	pH <sub>crit</sub>	- ANC <sub>le(crit)</sub> (2)
				-	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
		Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)			
51b	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutten, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	300	3,8	1541
52	91E0*	Anmoorgley; 60-120 cm Altlaufden ( qp- qh) über Terrassensand (qp)	300	3,8	1541

### 5.7.5 Kriterium 3: Erhaltung der Boden-Stabilität (Al<sub>le(crit)</sub>)

Als Kriterium für die Bestimmung eines kritischen Aluminium-Austrages mit dem Sickerwasser muss auch der notwendige Mindest-Gehalt an sekundären Aluminium-Phasen und -Komplexen benutzt werden, da diese Komponenten wichtige Strukturelemente des Bodens darstellen und die Bodenstabilität von der Stabilität dieses Reservoirs an Substanzen abhängt. Eine Verminderung des Aluminium-Gehaltes findet statt, wenn Säureeinträge zu einer übermäßigen Auswaschung von Aluminium führen, das durch Verwitterung primärer Mineralien im Aluminium-Pufferbereich freigesetzt wurde. Verliert der Boden durch fortschreitende Versauerung zu viele Aluminium-Ionen und geht in den Eisen-Pufferbereich über, geht die typische Kolloid-Struktur der Bodenfestphase verloren und ist auch nicht mehr wieder herstellbar. Der Boden wird bei Überschreitung der zulässigen Al-Auswaschungsrate irreversibel in seiner Struktur degradiert. Deshalb wird festgelegt (CLRTAP 2004, 2014, 2017), dass die kritische Auswaschungsrate von Al mit dem Sickerwasser nicht höher sein darf als die Freisetzungsrates von Al durch Verwitterung der primären Mineralien, d. h. ein ständiger Nachschub von Al in die Bodenlösung muss gewährleistet sein. Der Schwellenwert für die Ermittlung des Critical Load wird demnach festgesetzt (CLRTAP 2004, 2014, 2017) mit:

$$Al_{le(crit)} = Al_w$$

wobei: Al<sub>w</sub> = Verwitterungsrate von Al aus primären Mineralien [eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>]

Die Freisetzung von Al steht in einem mehr oder weniger konstanten Verhältnis zur Verwitterungsrate basischer Kationen, so dass man unter Berücksichtigung der Stöchiometrie einen Faktor p bestimmen kann, der dieses Verhältnis angibt:

$$Al_w = p \cdot BC_w$$

Der Critical Load für den Säureeintrag ergibt sich unter Berücksichtigung des notwendigen sekundären Al-Komplex-Gehaltes im Boden als Voraussetzung für dessen Stabilität wie folgt:

$$-ANC_{le(crit)} = p \cdot BC_w + PS^{\frac{2}{3}} \left( \frac{p \cdot BC_w}{K_{gibb}} \right)^{\frac{1}{3}} - HCO_{3le}$$

wobei:

p = Verhältnis von BC<sub>w</sub> zu Al<sub>w</sub>,

wobei in Mitteleuropa p = 2 gesetzt wird (Manual, CLRTAP 2004, 2014, 2017). BC<sub>w</sub> und B<sub>cw</sub> sind in Tab. 16, K<sub>gibb</sub> in Tab. 21 ausgewiesen. Somit ergeben sich bei p=2 folgende ANC<sub>le(crit)</sub> (Tab. 22).

Tab. 22: Eingangsdaten und Ergebnisse der Berechnung von - ANC<sub>le(crit)</sub>(3) zur Erhaltung der Boden-Stabilität in Abhängigkeit von Al<sub>le(crit)</sub>

BP	LRT	Bodenform	- ANC <sub>le(crit)</sub> (3)
			eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
1	2310	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	3197
2	2330	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina;	3707

BP	LRT	Bodenform	- ANC <sub>le(crit)</sub> (3)
			eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
		Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	
3	2330	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	3707
4	2330	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	3737
5	2330	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	3825
6	2330	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp-qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	3827
7	2330	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	3827
8	6230*	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	3213
9	2330	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	2508
10	6510	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	2609
11	6510	Braunerde; erodiert;	2609
12	6510	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp-qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	2611
13	6510	Gley oder Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment über 50-90 cm Altem Hochflutlehm bis -ton über Terrassensand (qp)	2606
14	6510	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	2606
15	6510	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochfluton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	2300
16	9110	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	4929
19	9110	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	3911
20	9110	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	3869
21	9110	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	3764
22	9110	Gley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	3935
23	9110	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	2966
24	9110	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	3905
25	9130	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	4929
26	9130	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	4334
27	9130	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand	3875

BP	LRT	Bodenform	- ANC <sub>le(crit)</sub> (3)
			eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
		bis -kies (qp)	
28	9160	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	6167
29	9160	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand ( qp- qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	4838
30	9160	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	4838
31	9160	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	6176
32	9160	Gley-Braunerde, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	4880
33	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	6168
34	9160	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment (qp) oder Hochflutlehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm bis -ton, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	6112
35	9160	Pseudogley; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	4837
36	9160	Gley; >120 cm Lehm bis Ton der Bach- und Altläufe ( qp- qh)/2	4578
37	9110	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	4330
38	9160	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	4927
39	9160	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm ( qp- qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	6170
40	9190	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	4929
41	9190	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	7894
42	9190	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	7886
43	9190	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	6180
44	9190	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <50cm äolischem und fluviatilem Sand, über teilweise carbonathaltigem Älterem Hochflutsand bis Lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	5770
45a	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	6290
45b	9190	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	4877
46a	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment ( Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	6233
46b	9190	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment	4367

BP	LRT	Bodenform	- ANC <sub>le(crit)</sub> (3)
			eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
		( Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	
47	9190	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	7959
48	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	3162
49	9190	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflut- ton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	4956
50	91E0*	Anmoorgley; 60-120 cm Altlauf- ton ( qp- qh) über Terrassensand (qp)	3822
51a	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflut- ton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	4356
51b	9160	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflut- ton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	4356
52	91E0*	Anmoorgley; 60-120 cm Altlauf- ton ( qp- qh) über Terrassensand (qp)	5289

#### 5.7.6 Kriterium 4: Erhaltung einer vegetationspezifischen akzeptablen Basensättigung (BS<sub>crit(phyto)</sub>)

Für die Ermittlung von Critical Loads für Stickstoff- und Schwefelverbindungen, die für den Erhalt der Biodiversität zumindest eingehalten werden sollten, ist der Standortparameter Basensättigung von besonderem Interesse. Da die Stickstoff- und Schwefeldepositionen sich verändernd auf diesen Bodenparameter auswirken, werden als vegetationspezifischer Schwellenwert die kritische Basensättigung (BS<sub>crit(phyto)</sub>) für jede Pflanzengesellschaft bestimmt, bei dem die Pflanzengesellschaft gerade noch ohne Verlust der typischen Biodiversität existieren kann. Als typische Biodiversität wird die Artenliste der diagnostischen Arten der Gesellschaft, d. h. die Charakter- und hochsteten Begleitarten definiert, wie sie in der BERN-Datenbank in Auswertung der veröffentlichten Stetigkeitstabellen enthalten sind (vgl. BMVBS 2013, S. 135-148, Schlutow et al. 2018).

BS<sub>crit(phyto)</sub> der Pflanzengesellschaften wird dort angesetzt, wo der stickstoff- und schwefelinduzierte Standortgradient den Optimumbereich der Pflanzengesellschaft verlässt (vgl. Kap. 4.5.2). Dieser Gradient weist unterhalb des Optimumbereichs auf ein zunehmendes Nährstoffungleichgewicht hin. Die Critical Limits BS<sub>crit(phyto)</sub> ergeben sich aus dem höchsten unteren Optimumwert aller diagnostischen Arten der Gesellschaft. Das heißt, die empfindlichste charakteristische Art bestimmt mit ihrer (engen) ökologischen Nische die Critical Limits der Gesellschaften (vgl. BMVBS 2013, S. 147).

Um den Zusammenhang zwischen dem Schwellenwert (Critical Limit) der Basensättigung [BS<sub>crit(phyto)</sub>] des Bodens für eine optimale Existenz der Pflanzengesellschaft und einem Grenzwert für den Eintrag von Säurebildnern herzustellen, muss in das Massenbilanzmodell ein Schwellenwert für den Austrag von Säureneutralisationskapazität aufgenommen werden.

$$[H]_{crit} = K_{Gap} \cdot \sqrt{[BC]} \cdot \left( \frac{1}{E_{BC(crit)}} - 1 \right) \text{ mit } K_{Gap} = \frac{1}{k_{HBC} + k_{AlBC} \cdot K^{\frac{1}{3}}_{gibb}}$$

wobei:

$$\begin{aligned} k_{AlBC} &= \text{GAPON-Austausch-Koeffizient Al zu Ca+Mg+K} \\ k_{HBC} &= \text{GAPON-Austausch-Koeffizient H zu Ca+Mg+K} \\ E_{BC(crit)} &= \text{BS}_{(crit)} / 100 \end{aligned}$$

[Bc] = Konzentration basischer Kationen Ca+Mg+K in der Bodenlösung

Die Konzentration basischer Kationen in der Bodenlösung wird ermittelt nach:

$$[Bc] = Bc_{le} / PS$$

Die kritische Austragsrate von Säureneutralisationskapazität  $ANC_{le(crit)}$  ergibt sich damit wie folgt:

$$-ANC_{le(crit)} = H_{le(crit)} + Al_{le(crit)} - HCO_{3le} = PS \cdot ([H]_{crit} + [Al]_{crit} - [HCO_3]_{le}) \text{ mit}$$

$$[Al]_{crit} = K_{gibb} \cdot [H]_{crit}$$

Für die GAPON-Austausch-Koeffizienten Al bzw. H zu Ca+Mg+K stehen derzeit nur Referenzwerte aus den Niederlanden zur Verfügung. Eine Verifizierung an deutschen Referenzstandorten steht noch aus.

Für die an den Beurteilungspunkten angegebenen Bodenarten wurden die GAPON-Koeffizienten anhand der Angaben zum Ausgangssubstrat zugeordnet (Tab. 23), wobei davon ausgegangen wird, dass Löss im Wesentlichen aus Schluff besteht (AG Boden 2005). Die Werte für Torf werden für Hoch- und Niedermoore angewendet.

Tab. 23: Logarithmischer GAPON-Austausch-Koeffizient Al bzw. H zu Ca+Mg+K [eq m<sup>-3</sup>]<sup>-1/2</sup> (DeVries und Posch 2003)

	Sand	Löss, Lehm	Ton	Torf
kHBc	3,296	3,193	3,616	2,809
kAlBc	0,503	0,292	-0,595	-0,497

$K_{gibb}$  ist in Kap. 5.7.1, PS in Tab. 14 ausgewiesen. Somit ergeben sich folgende  $ANC_{le(crit)}$  (Tab. 24).

Tab. 24: Eingangsdaten und Ergebnisse der Berechnung von  $-ANC_{le(crit)}(4)$  zur Erhaltung einer vegetationspezifischen akzeptablen Basensättigung ( $BS_{crit(phyto)}$ )

BP	LRT	Ziel-Pflanzengesellschaft	$BS_{crit(phyto)}$	$k_{HBc}$	$k_{AlBc}$	$-ANC_{le(crit)}(4)$
			%	[eq m <sup>-3</sup> ] <sup>-1/2</sup>	[eq m <sup>-3</sup> ] <sup>-1/2</sup>	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
1	2310	Genisto pilosae-Callunetum OBERD. 1938	4	3,296	0,503	5878654
2	2330	Airo caryophylleae-Festucetum ovinae TX. 1955	4,3	3,296	0,503	10100851
3	2330	Airo caryophylleae-Festucetum ovinae TX. 1955	4,3	3,296	0,503	10100851
4	2330	Spergulo-Corynephoretum canescens (typ. Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	4,3	3,296	0,503	10577759
5	2330	Agrostietum coarctatae KOBENDZA 1930 (= Agrostietum vinealis KOB. 1930)	4	3,296	0,503	8099693
6	2330	Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933	4	3,296	0,503	7762664
7	2330	Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933	4	3,296	0,503	7762664
8	6230*	Polygalo-Nardetum strictae (PRSG. 1953) OBERD. 1957	4,3	3,296	0,503	5309782
9	2330	Spergulo-Corynephoretum canescens (Cladonia-Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	4,3	3,616	0,292	6038330

BP	LRT	Ziel-Pflanzengesellschaft	BS <sub>crit(phyto)</sub>	k <sub>HBc</sub>	k <sub>AIBc</sub>	-ANC <sub>le(crit)</sub> (4)
			%	[eq m <sup>-3</sup> ] <sup>-1/2</sup>	[eq m <sup>-3</sup> ] <sup>-1/2</sup>	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
10	6510	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	4	3,616	0,292	1672940
11	6510	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	4	3,616	0,292	1672940
12	6510	Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	4	3,616	0,292	1208349
13	6510	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	4	3,193	0,292	2108828
14	6510	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	4	3,193	0,292	2108828
15	6510	Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	4	3,193	0,292	568092
16	9110	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Sub-ass.) MEUSEL 1937	4	3,193	0,292	35884255
19	9110	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Sub-ass.) MEUSEL 1937	4	3,193	0,292	18466812
20	9110	Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Sub-ass.) MEUSEL 1937	4	3,193	0,292	18296335
21	9110	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	4	3,193	0,292	18331108
22	9110	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	4	3,193	0,292	20805137
23	9110	Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	4	3,193	0,292	8128330
24	9110	Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrum filix-femina-Subass.) MEUSEL 1937	4	3,193	0,292	19818760
25	9130	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Sub-ass.) SOUGNEZ et THILL 1959	4	3,193	0,292	35884255
26	9130	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Sub-ass.) SOUGNEZ et THILL 1959	4	3,193	0,292	26305320
27	9130	Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Sub-ass.) SOUGNEZ et THILL 1959	4	3,193	0,292	17969814
28	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,193	0,292	57215224
29	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,193	0,292	30069150
30	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,193	0,292	30069150
31	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,193	0,292	54935154
32	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,616	0,292	25844258
33	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,616	0,292	44579421
34	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,616	0,292	54776239
35	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,616	0,292	24213415
36	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,296	0,503	11149354
37	9110	Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrum filix-femina-Subass.) MEUSEL 1937	4	3,193	0,292	26257933
38	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,193	0,292	31599851
39	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,193	0,292	55796362
40	9190	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX.	4	3,193	0,292	39888132

BP	LRT	Ziel-Pflanzengesellschaft	BS <sub>crit(phyto)</sub>	k <sub>HBc</sub>	k <sub>AIBc</sub>	-ANC <sub>le(crit)</sub> (4)
			%	[eq m <sup>-3</sup> ] <sup>-1/2</sup>	[eq m <sup>-3</sup> ] <sup>-1/2</sup>	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
		1937				
41	9190	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	4	3,296	0,503	47084619
42	9190	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	4	3,616	0,292	82087177
43	9190	Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	4	3,616	0,292	50390925
44	9190	Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958	4	3,616	0,292	44062985
45a	9190	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	9	3,616	0,292	4085575
45b	9190	Querco roboris-Carpinetum betuli TX. 1937 (typ. Subass.)	19	3,616	0,292	146918
46a	9190	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	9	3,193	0,292	4986648
46b	9190	Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	21	3,193	0,292	134025
47	9190	Betulo-Quercetum petraeae (Molinia-Subass.) TX. 1937	4,3	3,193	0,292	86355469
48	9190	Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	4,3	3,193	0,292	11915883
49	9190	Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958	4	3,193	0,292	54360224
50	91E0*	Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	9,1	3,193	0,292	2596631
51a	9160	Stellario holosteae-Carpinetum betuli HARTMANN 1959	4	3,193	0,292	44320479
51b	9160	Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	4	3,193	0,292	44320479
52	91E0*	Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	9,1	3,193	0,292	4344485

## 6 Ergebnisse der Einzelfallprüfung

### 6.1 Aktuelle Regenerierungspotenziale der LRT-Flächen

Um zu klären, ob irreversible Vorschädigungen der LRT-Flächen im Boden vorliegen, die das Erreichen des Entwicklungszieles und der damit verbundenen Critical Limits erschweren würden, sind Profile und chemische Parameter an 48 repräsentativen Beurteilungspunkten (Feldwisch (2013)) analysiert und ausgewertet worden. Die zu beprobenden Punkte sind so gewählt worden, dass alle im UG vorkommenden Bodenformen vertreten sind und damit die Bk25 durch genauere Analysen untersetzt werden kann (vgl. Tab. 2).

Die beprobten Tiefenstufen umfassen jeweils die gesamte vegetationsabhängige Wurzeltiefe.

In der folgenden Tabelle (vgl. Tab. 25) sind die Messergebnisse zusammengefasst jeweils für die von Kraut- und Baumschicht durchwurzelter Horizonte (tiefenstufengewichteter Mittelwert) dargestellt.

Tab. 25: Ergebnisse der Bodenanalysen in den repräsentativen Beurteilungspunkten (Feldwisch 2013)

BP	Vegetation	Tiefenstufen	pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> [-]	pH <sub>(KCl)</sub> [-]	KAK <sub>eff</sub> [mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ]	BS [%]	C/N [-]
<b>FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“</b>							
1	Zwergstrauch-Heiden	Krautschicht (bis 50 cm)	4,32	3,97	2,5	23	18,07
2	Zwergstrauch-Heiden	Krautschicht (bis 60 cm)	4,58	3,94	4,0	24,4	16,78
3	Sandtrockenrasen	Krautschicht (bis 45 cm)	4,70	4,41	6,0	73,8	15,80
16	Bodensaure Buchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,29	4,01	5,0	16,5	18,98
		Baumschicht (bis 85 cm)	4,26	4,01			-
19	Bodensaure Buchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,11	3,54	4,6	16,9	18,45
		Baumschicht (bis 60 cm)	4,14	3,58			-
25	Buchenwälder mittlerer und basenreicher Standorte	Krautschicht (bis 40 cm)	4,30	3,82	4,1	16,2	28,36
		Baumschicht (bis 60 cm)	4,29	3,84			-
26	Buchenwälder mittlerer und basenreicher Standorte	Krautschicht (bis 40 cm)	4,19	3,53	5,1	10,6	21,02
		Baumschicht (bis 45 cm)	4,21	3,56			-
27	Buchenwälder mittlerer und basenreicher Standorte	Krautschicht (bis 40 cm)	4,29	3,67	4,5	13,1	22,59
		Baumschicht (bis 75 cm)	4,27	3,75			-
41	Eichenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,37	3,93	23,0	10,5	19,54
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,44	4,04			-
<b>FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“</b>							
4	Sandtrockenrasen	Krautschicht (bis 60 cm)	7,69	7,54	113,6	100	10,73

BP	Vegetation	Tiefenstufen	pH <sub>(H2O)</sub> [-]	pH <sub>(KCl)</sub> [-]	KAK <sub>eff</sub> [mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ]	BS [%]	C/N [-]
5	Sandtrockenrasen	Krautschicht (bis 60 cm)	7,05	6,49	11,6	99,7	11,90
6	Sandtrockenrasen	Krautschicht (bis 60 cm)	5,20	4,25	2,9	56,3	13,26
7	Sandtrockenrasen	Krautschicht (bis 60 cm)	7,22	6,66	23,5	99,9	11,82
10	Grünland frischer Standorte	Krautschicht (bis 60 cm)	5,41	4,37	4,4	88,1	12,23
11	Grünland frischer Standorte	Krautschicht (bis 60 cm)	6,00	5,09	5,7	98,1	14,03
12	Grünland frischer Standorte	Krautschicht (bis 60 cm)	5,83	4,60	8,2	94,9	12,00
<b>FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“</b>							
8	Magerrasen saurer Standorte	Krautschicht (bis 30 cm)	5,73	4,44	5,9	94,4	15,05
13	Grünland frischer Standorte	Krautschicht (bis 60 cm)	4,90	3,80	20,8	78,5	12,39
14	Grünland frischer Standorte	Krautschicht (bis 50 cm)	4,94	3,87	12,7	74,3	13,92
15	Grünland frischer Standorte	Krautschicht (bis 35 cm)	4,96	4,09	5,5	87,7	13,68
20	Bodensaure Buchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,35	3,75	3,9	29,0	18,84
		Baumschicht (bis 80 cm)	4,39	3,86			-
21	Bodensaure Buchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,16	3,67	5,8	13,2	18,77
		Baumschicht (bis 60 cm)	4,17	3,75			-
22	Bodensaure Buchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,02	3,43	4,7	15,3	19,25
		Baumschicht (bis 60 cm)	4,06	3,53			-
23	Bodensaure Buchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	3,61	2,99	10,5	7,9	20,97
		Baumschicht (bis 80 cm)	3,72	3,15			-
24	Bodensaure Buchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	3,87	3,26	8,0	11,0	21,37
		Baumschicht (bis 80 cm)	4,06	3,55			-
28	Eichen-Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,06	3,39	7,5	28,1	18,25
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,47	3,68			-
29	Eichen-Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,48	3,46	59,5	69,1	18,39
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,84	3,75			-
30	Eichen-Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,46	3,53	108,4	63,0	14,58

BP	Vegetation	Tiefenstufen	pH <sub>(H2O)</sub> [-]	pH <sub>(KCl)</sub> [-]	KAK <sub>eff</sub> [mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ]	BS [%]	C/N [-]
		Baumschicht (bis 160 cm)	5,30	4,03			-
31	Eichen- Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,44	3,65	112,7	74,3	15,42
		Baumschicht (bis 160 cm)	5,08	3,99			-
32	Eichen- Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,24	3,18	127,1	75,4	17,98
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,57	3,48			-
33	Eichen- Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,47	3,44	111,1	62,8	15,85
		Baumschicht (bis 160 cm)	6,40	5,56			-
34	Eichen- Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	6,03	4,83	342,6	99,1	12,18
		Baumschicht (bis 160 cm)	7,29	6,27			-
35	Eichen- Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,05	3,39	137,1	56,8	16,27
		Baumschicht (bis 160 cm)	6,07	5,25			-
36	Eichen- Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	5,22	4,11	156,7	97,6	17,14
		Baumschicht (bis 60 cm)	5,18	4,11			-
37	Eichen- Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	3,68	2,87	70,8	28,6	21,21
		Baumschicht (bis 70 cm)	3,84	3,13			-
38	Eichen- Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,80	3,64	102,7	81,4	13,01
		Baumschicht (bis 80 cm)	5,31	4,11			-
39	Eichen- Hainbuchenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	5,92	5,21	462,9	100	12,17
		Baumschicht (bis 160 cm)	7,51	6,73			-
42	Eichenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,15	3,79	29,7	70,0	18,24
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,47	4,10			-
43	Eichenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,11	3,49	29,8	51,0	19,73
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,34	3,79			-
44	Eichenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,33	3,95	30,5	12,7	19,22
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,49	4,12			-

BP	Vegetation	Tiefenstufen	pH <sub>(H2O)</sub> [-]	pH <sub>(KCl)</sub> [-]	KAK <sub>eff</sub> [mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ]	BS [%]	C/N [-]
45	Eichenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,15	3,43	32,7	30,0	16,76
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,67	3,63			-
46	Eichenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,11	3,28	44,8	19,6	17,02
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,59	3,59			-
47	Eichenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	4,11	3,41	38,2	29,9	19,14
		Baumschicht (bis 160 cm)	4,47	3,85			-
48	Eichenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	3,79	3,03	68,2	22,9	19,56
		Baumschicht (bis 40 cm)	3,79	3,03			-
49	Eichenwälder	Krautschicht (bis 40 cm)	3,89	3,12	78,4	14,6	17,51
		Baumschicht (bis 100 cm)	4,14	3,30			-
50	Bachauenwälder (Esche/Erle)	Krautschicht (bis 40 cm)	4,85	4,08	176,2	97,4	15,45
		Baumschicht (bis 40 cm)	4,85	4,08			-
51	Bachauenwälder (Esche/Erle)	Krautschicht (bis 40 cm)	3,89	3,03	173,9	20,0	14,60
		Baumschicht (bis 70 cm)	4,02	3,08			-
52	Bachauenwälder (Esche/Erle)	Krautschicht (bis 40 cm)	4,01	3,12	201,8	15,6	14,64
		Baumschicht (bis 70 cm)	4,12	3,16			-

## Anmerkungen:

BS = Basensättigung (NH<sub>4</sub>Cl-Aufschluss) in der Tiefenstufe 20 - 60 cm

KAK eff = effektive Kationenaustaschkapazität in μmol<sub>c</sub> g<sup>-1</sup> = mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> in der Tiefenstufe 20 - 60 cm

pH<sub>(H2O)</sub> = pH-Wert in Wasser

- pH-Werte für den Wurzelraum der Krautschicht, Mittelwert in der Humusauf-  
lage zuzüglich obere Mineralbodenschichten bis zur von der Krautschicht  
durchwurzelten Tiefe
- pH-Werte für den gesamten Wurzelraum der Baumschicht als Mittelwert über  
Humus- und Mineralbodenschichten bis zur von der Hauptbaumart durch-  
wurzelten Tiefe.

pH<sub>(KCl)</sub> = pH-Wert in Kalium-Chlorid

- pH-Werte für den Wurzelraum der Krautschicht, Mittelwert in der Humusauf-  
lage zuzüglich obere Mineralbodenschichten bis zur von der Krautschicht  
durchwurzelten Tiefe
- pH-Werte für den gesamten Wurzelraum der Baumschicht als Mittelwert über  
Humus- und Mineralbodenschichten bis zur von der Hauptbaumart durch-  
wurzelten Tiefe.

C/N = Verhältnis von organischen Kohlenstoff- zu Stickstoffionen [% %<sup>-1</sup>] für den Wurzelraum der Krautschicht, d. h. Mittelwert in der Humusaufgabe bzw. obere 10 cm Mineralboden.

Unter „durchwurzelte Bodenzone“ der Baumschicht werden hierbei grundsätzlich die Humushorizonte zuzüglich der Mineralbodentiefenstufen verstanden, in denen die Hauptwurzelmasse der jeweiligen Hauptbaumart(en) am Standort (auch unter Beachtung der Zielbaumart(en)) im günstigen Zielzustand (entspr. Kap. 3.4.2) zur Entfaltung kommt.

Der Status der Eutrophierung wird durch das C/N-Verhältnis im Oberboden angezeigt.

An den Bodenprobenpunkten **BP 4**, **BP 5** (LRT 2330, Biotoptyp Sandtrockenrasen) sowie am **BP 10** (LRT 6510, Biotoptyp Grünland frischer Standorte) im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne liegt das jeweilige aktuelle C/N-Verhältnis signifikant unterhalb des unteren Referenz-Spannenwertes der Bodenform ( $C/N_{akt} < C/N_{min(crit)}$ ) (s. Tab. 11). In Graslandstandorten ist die Mineralisierungsrate gegenüber Waldstandorten generell höher, da die fehlende Beschattung durch Bäume den Wärmehaushalt des Bodens begünstigt. Gleichzeitig sind die Rückstände von Gräsern leichter zersetzbar als Blätter oder Nadeln von Bäumen, außerdem in der Masse entsprechend weniger. Das heißt, es findet eine rasche und vollständige Mineralisierung aller organischen Ernterrückstände innerhalb einer Vegetationsperiode statt. Allerdings ist an den genannten Beurteilungspunkten auch bereits das vegetationstypische C/N-Verhältnis ( $C/N_{phyto(crit)}$ ) unterschritten, was vermutlich auf die hohe N-Vorbelastung zurück zu führen ist. Demzufolge muss die Netto-Immobilisierungsrate auf Null gesetzt werden (vgl. Kap. Tab. 11) und der CL<sub>eutN</sub> und der CL(S+N) für die LRT-Flächen verringert sich bei dynamischer Modellierung entsprechend deutlich.

**In allen anderen LRT-Flächen** der 3 FFH-Gebiete liegen die aktuellen C/N-Verhältnisse innerhalb der bodentypischen Spanne ( $C/N_{min(crit)} < C/N_{akt} < C/N_{max(crit)}$ ) (s. Tab. 11). Somit kann davon ausgegangen werden, dass hinsichtlich des aktuellen Ausmaßes der Eutrophierung durch die Vorbelastung hier keine irreversiblen Standortveränderungen vorliegen.

Allerdings werden die vegetationstypischen C/N-Spannungsgrenzen in der Schwanheimer Düne an den **BP 4** (LRT 2330) sowie im Schwanheimer Wald **BP 8** (LRT 6230), **BP 13** (LRT 6510), **BP 38, 39** (LRT 9160) und **BP 45** (LRT 9190) aktuell unterschritten (vgl. Tab. 11). Diese Verletzung des Critical Limits  $C/N_{phyto(crit)}$  ist aber reversibel, da die bodentypischen C/N-Spannen ( $C/N_{min(crit)}$  bis  $C/N_{max(crit)}$ ) noch nicht verlassen sind.

Der aktuelle Säure-Basen-Status wird durch die pH-Werte und die Basensättigung charakterisiert. Die Säurestärke in der Bodenlösung bestimmt die Lebensbedingungen für die Bodenorganismen, die Verfügbarkeit der basischen Nährkationen sowie die Löslichkeit toxischer Aluminium-Ionen.

Während die in der reinen Wassersuspension gemessenen pH-Werte ( $pH_{(H_2O)}$ ) den aktuellen Säurezustand angeben, zeigen die in Salzlösung gemessenen  $pH_{(KCl)}$  die potenziell mögliche Verringerung des aktuellen  $pH_{(H_2O)}$ -Wertes bei ungünstigsten Umweltbedingungen an. Der  $pH_{(H_2O)}$ -Wert kann relativ starken saisonalen Schwankungen unterliegen, während der  $pH_{(KCl)}$  relativ stabil ist.

Kein  $pH_{(H_2O)}$ -Wert liegt unterhalb der Grenze des Aluminium-Eisen-Pufferbereiches des Mineralbodens (< 3,2), der Grenze für eine irreversible Bodendegradierung.

Im kritischen  $pH_{(KCl)}$ -Bereich befindet sich der **BP 23** im Schwanheimer Wald. Hier hat offensichtlich eine starke Entbasung durch versauernde Vorbelastungen stattgefunden. Für diese Fläche muss davon ausgegangen werden, dass die bodentypische Freisetzungsrates an basischen Kationen nur schwer wieder herstellbar ist und für die CL(S+N)-Berechnung deshalb eine langfristige Minderung dieses Terms angenommen werden muss.

**An allen anderen Beurteilungspunkten** liegen die  $pH_{(H_2O)}$ -Werte im Mittel über die durchwurzelte Bodentiefe oberhalb des kritischen unteren  $pH_{(H_2O)}$ -Wertes ( $pH_{(crit)}$ ) des bodentypischen Pufferbereiches (vgl. Tab. 20 und Tab. 21).

Die Basensättigung liegt am **BP 26** (LRT 9130) im Kelsterbacher Wald etwas unter dem Critical Limit ( $BS_{(crit)}$ ). Hinsichtlich des pH-Wertes wird das Critical Limit jedoch eingehalten. Diese Konstellation ist ein Indiz dafür, dass zwar in der Vergangenheit eine starke Versauerung des Standortes stattgefunden hat, dass aber inzwischen ein Trend zur Regenerierung eingesetzt hat. Das heißt, die Freisetzungsrates basischer Kationen ist ausreichend hoch, um die Verschlechterung der Basenausstattung durch die versauernde Vorbelastung in naher Zukunft wieder auszugleichen.

**Bei allen anderen BP** ist die aktuelle Basensättigung oberhalb des jeweiligen Critical Limits (s. Tab. 24) und damit im unkritischen Bereich.

An den Beurteilungspunkten in den Wald-LRT (alle auf anhydromorphen Böden) im FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald (**BP 16,19, 25, 27, 41**) liegen die aktuellen bodenchemischen Werte im idealtypischen Bereich der Bodenform und des Vegetationstyps. Damit werden erneut die Analysenwerte, die im Rahmen des forstlich-ökologischen Beweissicherungsverfahrens im Planverfahren der Startbahn 18 West (Langzeit-Untersuchungen von 1981 bis 1991) erhoben wurden, auch 2012 wieder bestätigt. Es wurden keine Schädigungen im FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald in der Umgebung der Startbahn 18 West nachgewiesen, die auf Stickstoffeintrag zurück zu führen waren. Weitere Bodenuntersuchungen wurden im Zuge des Planfeststellungsverfahrens zum Flughafenausbau auf einer Bodendauerbeobachtungsfläche der HLUÖ östlich des Parallelbahnsystems erhoben. Auf der Grundlage dieser Analysen konnte im gerichtlichen Verfahren zum Flughafenausbau beim VGH Kassel (vom 21.08.2009, 11 C 318/08.T) nachgewiesen werden, dass die Critical Limits C/N, BS, pH, Bc/N, Bc/Al eingehalten waren.

Während die Ermittlung von Critical Loads und deren Überschreitungen einen vorsorglich sehr konservativen Ansatz zur Bewertung von N- (+S-)Einträgen darstellt, gibt die Analyse von bodenchemischen Parametern und ihr Vergleich mit den spezifischen Critical Limits Auskunft über die tatsächliche aktuelle Belastungssituation.

## 6.2 Standortspezifisch modellierte Critical Loads

Für die Beurteilungspunkte im UG ergeben sich folgende Critical Loads für den eutrophierenden Stickstoffeintrag (CLeutN) sowie für den versauernden Stickstoff- und Schwefeleintrag (CL(S+N)) (Tab. 26).

Tab. 26: Ergebnisse der Berechnung von CLeutN und CL(S+N)

Beurteilungspunkt/ LRT mit Ziel- Pflanzengesellschaft	Bodenform	CLeutN	CL(S+N)
		kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
<b>FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“</b>			
<b>BP 1 LRT 2310</b> Genisto pilosae- Callunetum OBERD. 1938	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flug- sand (qp)	18	2233
<b>BP 2 LRT 2330</b> Airo caryophylleae- Festucetum ovinae TX. 1955	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Sy- rosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	16	2740
<b>BP 3 LRT 2330</b> Airo caryophylleae- Festucetum ovinae TX. 1955	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Sy- rosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	16	2740
<b>BP 16 LRT 9110</b> Luzulo albidae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	17	2808
<b>BP 19 LRT 9110</b> Luzulo albidae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	18	2809

<b>BP 25 LRT 9130</b> Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	16	2754
<b>BP 26 LRT 9130</b> Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	16	2462
<b>BP 27 LRT 9130</b> Asperulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	17	2223
<b>BP 40 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	18	2800
<b>BP 41 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	18	4433
<b>FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“</b>			
<b>BP 4 LRT 2330</b> Spergulo-Corynephorum canescentis (TX. 1928) LIBB. 1933	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	16	2438
<b>BP 5 LRT 2330</b> Agrostietum coarctatae KOB. 1930 (= Agrostietum vinealis KOB. 1930)	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	16	2441
<b>BP 6 LRT 2330</b> Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand (qp-qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	18	2528
<b>BP 7 LRT 2330</b> Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	18	2528
<b>BP 9 LRT 2330</b> Spergulo-Corynephorum canescentis (Cladonia-Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	Braunerde; erodiert	16	1836
<b>BP 10 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	24	1960
<b>BP 11 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Braunerde; erodiert	24	1522
<b>BP 12 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand (qp-qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	28	1747

<b>FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“</b>			
<b>BP 8 LRT 6230</b> Polygalo-Nardetum strictae (PRSG. 1953) OBERD. 1957	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	17	2184
<b>BP 13 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Gley oder Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment über 50-90 cm Altem Hochflutlehm bis -ton über Terrassensand (qp)	27	2199
<b>BP 14 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	27	2199
<b>BP 15 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	27	2052
<b>BP 20 LRT 9110</b> Luzulo albidiae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	18	2260
<b>BP 21 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl.kies (qp)	18	2967
<b>BP 22 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	Gley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	13	2723
<b>BP 23 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	13	2022
<b>BP 24 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrium filix-femina- Subass.) MEUSEL 1937	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	15	2775
<b>BP 28 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	12	3213
<b>BP 29 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand (qp-qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	14	2418
<b>BP 30 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	14	2418

<b>BP 31 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit ab- gesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	15	3132
<b>BP 32 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Braunerde, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flug- sand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terras- sensand bis -kies (qp)	12	2531
<b>BP 33 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	12	2986
<b>BP 34 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment (qp) oder Hochflutlehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm bis -ton, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	14	2752
<b>BP 35 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Pseudogley; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	14	2372
<b>BP 36 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley; >120 cm Lehm bis Ton der Bach- und Altläufe (qp-qh)	20	2623
<b>BP 37 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrium filix-femina- Subass.) MEUSEL 1937	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwas- ser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	22	3604
<b>BP 38 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit ab- gesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	15	2472
<b>BP 39 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	14	2764
<b>BP 42 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flug- sand (qp)	18	4414
<b>BP 43 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älte- rem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	19	3575
<b>BP 44 LRT 9190</b> Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <50cm äolischem und fluviatilem Sand, über teilweise car- bonathaltigem Älterem Hochflutsand bis Lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	17	3242
<b>BP 45 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum ro- boris (Molinia-Subass.)	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grund- wasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand)	16	3473

(TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)		
<b>BP 45 LRT 9190</b> Quercus robur- Carpinetum betuli TX. 1937 (typ. Subass.)	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	15	2585
<b>BP 46 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	18	3509
<b>BP 46 LRT 9190</b> Aceri pseudoplatani- Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	15	2503
<b>BP 47 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum petraeae (Molinia-Subass.) TÜXEN 1937	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	21	4636
<b>BP 48 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	21	2797
<b>BP 49 LRT 9190</b> Fago-Quercetum (typ. Subass.) LOHMEYER et TÜXEN 1958	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutten, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	11	4050
<b>BP 50 LRT 91E0</b> Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	Anmoorgley; 60-120 cm Altlauton (qp-qh) über Terrassensand (qp)	14	2548
<b>BP 51 LRT 9160</b> Stellario holostaeae- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutten, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	9	3599
<b>BP 51 LRT 9160</b> Aceri pseudoplatani- Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutten, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	14	3825
<b>BP 52 LRT 91E0</b> Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	Anmoorgley; 60-120 cm Altlauton (qp-qh) über Terrassensand (qp)	14	4477

### 6.3 Vergleich und Diskussion der Ergebnisse

Critical Loads für versauernde Stickstoff- und Schwefel-Einträge in FFH-LRT gibt es anderweitig nicht. Die folgende Übersicht zeigt Critical Loads für den eutrophierenden N-Eintrag bzw. deren Spannen standort- und/oder vegetationstypischer Critical Loads nach anderen Methoden im Vergleich mit den hier standortspezifisch modellierten CLeutN (Tab. 26).

Für **48 der 50 Beurteilungspunkte** lassen sich entsprechend den Biotoptypen nach der EUNIS-Klassifikation empirische Critical Loads-Spannen zuordnen (Bobbink & Hettelingh 2011) (Tab. 27). Für den LRT 91E0 gibt es keine adäquaten empirischen Critical Loads.

Tab. 27: Gegenüberstellung empirischer Critical Loads-Spannen (Bobbink & Hettelingh (2011) zu den modellgestützt konkretisierten CLeutN an den Beurteilungspunkten

Beurteilungspunkt/ LRT/ Pflanzengesell- schaft im Zielzustand	Bodenform	UNIS- Code	Emp. CL(N)	Konkret. CLeutN
			[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	
<b>FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“</b>				
<b>BP 1 LRT 2310</b> Genisto pilosae- Callunetum OBERD. 1938	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flug- sand (qp)	F4.2	10-20*	18
<b>BP 2 LRT 2330</b> Airo caryophylleae- Festucetum ovinae TX. 1955	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Sy- rosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	E1.94	8-15	16
<b>BP 3 LRT 2330</b> Airo caryophylleae- Festucetum ovinae TX. 1955	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Sy- rosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	E1.94	8-15	16
<b>BP 16 LRT 9110</b> Luzulo albidae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	G1.6	10-20	17
<b>BP 19 LRT 9110</b> Luzulo albidae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	G1.6	10-20	18
<b>BP 25 LRT 9130</b> Asper- ulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Ab- raum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	G1.6	10-20	16
<b>BP 26 LRT 9130</b> Asper- ulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	G1.6	10-20	16
<b>BP 27 LRT 9130</b> Asper- ulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älte- rem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	G1.6	10-20	17
<b>BP 40 LRT 9190</b> Betulo- Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Ab- raum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	G1.8	15-20	18
<b>BP 41 LRT 9190</b> Betulo- Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies (qp)	G1.8	15-20	18
<b>FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“</b>				
<b>BP 4 LRT 2330</b> Spergulo- Corynephorretum canes- centis (TX. 1928) LIBB. 1933	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Ab- raum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	E1.94	8-15	16

Beurteilungspunkt/ LRT/ Pflanzengesell- schaft im Zielzustand	Bodenform	UNIS- Code	Emp. CL(N)	Konkret. CLeutN
			[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	
<b>BP 5 LRT 2330</b> Agrostietum coarctatae KOB. 1930 (= Agros- tietum vinealis KOB. 1930)	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flug- sand (qp)	E1.94	8-15	16
<b>BP 6 LRT 2330</b> Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Ar- merio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand (qp-qh) über Al- tem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	E1.94	8-15	18
<b>BP 7 LRT 2330</b> Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Ar- merio-Festucetum trachyphyllae LIBBERT 1933	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	E1.94	8-15	18
<b>BP 9 LRT 2330</b> Spergulo- Corynephorretum canes- centis (Cladonia-Sub- ass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	Braunerde; erodiert	E1.94	8-15	16
<b>BP 10 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flug- sand (qp)	E2.2	20-30	24
<b>BP 11 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Braunerde; erodiert	E2.2	20-30	24
<b>BP 12 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum elatioris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand (qp-qh) über Al- tem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	E2.2	20-30	28
<b>FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“</b>				
<b>BP 8 LRT 6230</b> Polygalo-Nardetum strictae (PRSG. 1953) OBERD. 1957	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwas- ser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	E1.7	10-15	17
<b>BP 13 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Gley oder Pseudogley-Gley mit abge- senktem Grundwasser; <30 cm Deck- sediment über 50-90 cm Altem Hochflut- lehm bis -ton über Terrassensand (qp)	E2.2	20-30	27
<b>BP 14 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30- 60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. - kies (qp)	E2.2	20-30	27
<b>BP 15 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwas- ser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	E2.2	20-30	27

Beurteilungspunkt/ LRT/ Pflanzengesell- schaft im Zielzustand	Bodenform	UNIS- Code	Emp. CL(N)	Konkret. CLeutN
			[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	
<b>BP 20 LRT 9110</b> Luzulo albidae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älte- rem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp))	G1.6	10-20	18
<b>BP 21 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30- 60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl.kies (qp)	G1.6	10-20	18
<b>BP 22 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	Gley, örtl. mit abgesenktem Grundwas- ser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis - kies (qp)	G1.6	10-20	13
<b>BP 23 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flug- sand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	G1.6	10-20	13
<b>BP 24 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum sylvati- ci (Athyrium filix-femina- Subass.) MEUSEL 1937	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flug- sand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	G1.6	10-20	15
<b>BP 28 LRT 9160</b> Stellario holosteae- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flug- sand (qp)	G1.A	15-20	12
<b>BP 29 LRT 9160</b> Stellario holosteae- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand (qp-qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	G1.A	15-20	14
<b>BP 30 LRT 9160</b> Stellario holosteae- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	G1.A	15-20	14
<b>BP 31 LRT 9160</b> Stellario holosteae- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	G1.A	15-20	15
<b>BP 32 LRT 9160</b> Stellario holosteae- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Braunerde, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flug- sand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terras- sensand bis -kies (qp)	G1.A	15-20	12
<b>BP 33 LRT 9160</b> Stellario holosteae- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	G1.A	15-20	12

Beurteilungspunkt/ LRT/ Pflanzengesell- schaft im Zielzustand	Bodenform	UNIS- Code	Emp. CL(N)	Konkret. CLeutN
			[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	
<b>BP 34 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment (qp) oder Hochflutlehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm bis -ton, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	G1.A	15-20	14
<b>BP 35 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Pseudogley; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	G1.A	15-20	14
<b>BP 36 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley; >120 cm Lehm bis Ton der Bach- und Altläufe (qp-qh)	G1.A	15-20	20
<b>BP 37 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrium filix-femina-Subass.) MEUSEL 1937	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	G1.6	10-20	22
<b>BP 38 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	G1.A	15-20	15
<b>BP 39 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	G1.A	15-20	14
<b>BP 42 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	G1.8	15-20	18
<b>BP 43 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	G1.A	15-20	19
<b>BP 44 LRT 9190</b> Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <50cm äolischem und fluviatilem Sand, über teilweise carbonathaltigem Älterem Hochflutsand bis Lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	G1.A	15-20	17
<b>BP 45 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	G1.8	15-20	16

Beurteilungspunkt/ LRT/ Pflanzengesell- schaft im Zielzustand	Bodenform	UNIS- Code	Emp. CL(N)	Konkret. CLeutN
			[kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	
<b>BP 45 LRT 9190</b> Quercus robur- Carpinetum betuli TX. 1937 (typ. Subass.)	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	G1.8	15-20	15
<b>BP 46 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	G1.8	15-20	18
<b>BP 46 LRT 9190</b> Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	G1.8	15-20	15
<b>BP 47 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum petraeae (Molinia-Subass.) TÜXEN 1937	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	G1.A	15-20	21
<b>BP 48 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	G1.A	15-20	21
<b>BP 49 LRT 9190</b> Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TÜXEN 1958	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutten, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	G1.A	15-20	11
<b>BP 50 LRT 91E0</b> Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	Anmoorgley; 60-120 cm Altlaufden (qp-qh) über Terrassensand (qp)	G1.52	k. A.	14
<b>BP 51 LRT 9160</b> Stellario holosteaecarpinetum betuli HARTMANN 1959	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutten, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	G1.8	15-20	9
<b>BP 51 LRT 9160</b> Aceri pseudoplatani-Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutten, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	G1.A	15-20	14
<b>BP 52 LRT 91E0</b> Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	Anmoorgley; 60-120 cm Altlaufden (qp-qh) über Terrassensand (qp)	G1.52	k. A.	14

\* nur eingeschränkt zutreffend (vgl. Bobbink u. Hetteling 2011)

Vergleicht man die Ergebnisse der Modellierung mit den empirischen CL-Spannen (Kap. 4.1), so liegen bei **41 Beurteilungspunkten** die modellierten CL innerhalb der empirischen CL-Spannen oder weichen nur um ca. 1 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ab.

An **4 Beurteilungspunkten** liegen die modellierten CL mit 2-3 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> oberhalb der empirischen CL-Spanne. Dies begründet sich wie folgt:

An den **BP 6 und 7 (LRT 2330)** steht eine Parabraunerde an, die untypisch für Silbergras- bzw. Sandstraußgras-Magerrasen ist. So zeigen die aktuellen Vegetationsaufnahmen von PGNU (2018), dass sich die vormaligen frühen Sukzessionsstadien inzwischen zu Frischwiesen entwickelt haben. Am **BP 8 (LRT 6230)** wächst der Borstgrasrasen auf Bimstuff über Lehm und Ton, was ebenfalls nicht typisch ist. Die deutlich höhere Bodenfruchtbarkeit dieser Bodentypen führt zu einem höheren Entzug von N mit der Biomasseernte durch extensive Beweidung bzw. Mahd. Diese Biomasseentzüge sind notwendig, da der fruchtbare Boden die Erhaltung eines LRT 2330 bzw. LRT 6230 ohne Pflege nicht zuließe. Somit ist ein periodischer Biomasseentzug notwendig, der zu einer Entlastung des Ökosystems von Stickstoff, mithin zu höheren CL als bei den empirischen CL für LRtypische Verhältnisse führt. Auch der **BP 37 (LRT 9110)** weist mit einem lehmig-tonig em Anmoorboden untypisch nährstoffreiche Verhältnisse auf, so dass die höhere Bodenfruchtbarkeit zu einer untypisch hohen Derbholzzuwachsrates führt.

An **3 Beurteilungspunkten (BP 28, 32, 33, alle LRT 9160)** liegen die modellierten CL mit bis zu  $3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  unterhalb der empirischen CL-Spanne. Dies resultiert aus den deutlich niedrigeren Biomassenentzugsraten, die sich entsprechend der durch Grundwasserabsenkung geminderten Bodenfruchtbarkeit realisieren lassen, um den Bestand nicht zu gefährden. Bei einer Wiederherstellung des natürlichen Wasserhaushaltes würden sich die CL entsprechend erhöhen.

An **2 Beurteilungspunkten (BP 49 – LRT 9190, BP 51a – LRT 9160)** liegen die modellierten CL mit bis zu  $6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  unterhalb der empirischen CL-Spanne aufgrund des geplanten völligen Nutzungsverzichts laut Managementplanung.

An den **BP 40 bis 49 (LRT 9190)** wurde festgestellt (Feldwisch 2012, Neckermann & Achterholt 2012, PGNU 2018), dass sowohl die Bodenparameter ( $\text{pH} \geq 4$ ,  $\text{KAK}_{\text{eff}} \geq 30$ ,  $\text{C/N} < 20$ ) als auch die Artenzusammensetzung nicht die für einen LRT 9190 typischen sauren nährstoffarmen Verhältnisse anzeigen. Damit kann man diese Standorte nicht mehr zu den „Acidophilous Quercus-dominated woodland“ ( $\text{CL}_{\text{empN}} 10\text{-}15 \text{ kg}/(\text{ha a})$ ) rechnen, zu denen der LRT 9190 typischerweise gezählt wird, sondern muss sie unter "Meso- and eutrophic Quercus woodland" ( $\text{CL}_{\text{emp}} 15\text{-}20 \text{ kg}/(\text{ha a})$ ) einordnen.

#### 6.4 Überschreitungen der Critical Loads durch die Hintergrundbelastung 2013-2015

Die Berechnung der Überschreitungen der Critical Loads (vgl. Tab. 28) durch die Hintergrundbelastung im Mittel der Jahre 2013-2015 erfolgt durch einfache Subtraktion der Hintergrunddeposition (vgl. Kap. Tab. 4) minus Critical Load des LRT (vgl. Kap. 6.2).

Die Angaben in Tab. 28 beziehen sich jeweils auf die konkrete Deposition an den Beurteilungspunkten der einzelnen LRT.

Tab. 28: Überschreitungen der Critical Loads für den eutrophierenden N-Eintrag ( $\text{CL}_{\text{eutN}}$ ) und für den versauernden N+S-Eintrag ( $\text{CL}(\text{S}+\text{N})$ ) durch die Hintergrunddeposition im Mittel der Jahre 2013-2015

Beurteilungspunkt/ LRT mit akt. Pflanzengesellschaft	Bodenform	Überschreitung durch die Hintergrunddeposition 2013-2015	
		des $\text{CL}_{\text{eutN}}$	des $\text{CL}(\text{S}+\text{N})$
		$[\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$	$[\text{eq N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$
<b>FFH-Gebiet „Kelsterbacher Wald“</b>			
<b>BP 1 LRT 2310</b> Genisto pilosae- Callunetum OBERD. 1938	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	-1,9	-1271
<b>BP 2 LRT 2330</b> Airo caryophylleae- Festucetum ovinae TX. 1955	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	-0,6	-1880

Beurteilungspunkt/ LRT mit akt. Pflanzen- gesellschaft	Bodenform	Überschreitung durch die Hintergrunddeposition 2013- 2015	
		des CLeutN	des CL(S+N)
		[kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
<b>BP 3 LRT 2330</b> Airo caryophylleae- Festucetum ovinae TX. 1955	Bodenandeckung, Sodenandeckung (Sy- rosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh))	-0,6	-1880
<b>BP 16 LRT 9110</b> Luzulo albidae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laa- cher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flug- sand) über Terrassensand bis -kies (qp)	-1,8	-1560
<b>BP 19 LRT 9110</b> Luzulo albidae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	-3,3	-1581
<b>BP 25 LRT 9130</b> Asper- ulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	-1,1	-1506
<b>BP 26 LRT 9130</b> Asper- ulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laa- cher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flug- sand) über Terrassensand bis -kies (qp)	-1,1	-1214
<b>BP 27 LRT 9130</b> Asper- ulo-Fagetum sylvatici (typ. Subass.) MAYER 1964	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älter- em Hochflutsand bis -lehm und/oder Ter- rassensand bis -kies (qp)	-2,5	-975
<b>BP 40 LRT 9190</b> Betulo- Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	-3,0	-1552
<b>BP 41 LRT 9190</b> Betulo- Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laa- cher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flug- sand) über Terrassensand bis -kies (qp)	-3,0	-3185
<b>FFH-Gebiet „Schwanheimer Düne“</b>			
<b>BP 4 LRT 2330</b> Spergulo-Corynephore- tum canescentis (TX. 1928) LIBB. 1933	Syrosem, Ranker, örtl. Rendzina; Abraum, Müll, Aushub, Bauschutt (qh)	-2,0	-1643
<b>BP 5 LRT 2330</b> Agrostietum coarctatae KOB. 1930 (= Agros- tietum vinealis KOB. 1930)	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laa- cher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	-5,6	-1646
<b>BP 6 LRT 2330</b> Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio- Festucetum trachyphyl- lae LIBBERT 1933	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand (qp-qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	-7,6	-1733
<b>BP 7 LRT 2330</b> Agrostidetum tenuis HUECK 1931 (= Armerio- Festucetum trachyphyl- lae LIBBERT 1933	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	-4,1	-1733
<b>BP 9 LRT 2330</b> Spergulo-Corynephore- tum canescentis (Cladonia-Subass.) (TX. 1928) LIBB. 1933	Braunerde; erodiert	-1,1	-976

Beurteilungspunkt/ LRT mit akt. Pflanzen- gesellschaft	Bodenform	Überschreitung durch die Hintergrunddeposition 2013- 2015	
		des CLeutN	des CL(S+N)
		[kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
<b>BP 10 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum elatoris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	-10,1	-1090
<b>BP 11 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum elatoris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Braunerde; erodiert	-13,5	-641
<b>BP 12 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum elatoris (typ. Subass.) BR.-BL. 1919	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand (qp-qh) über Altem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	-14,1	-877
<b>FFH-Gebiet „Schwanheimer Wald“</b>			
<b>BP 8 LRT 6230</b> Polygalo-Nardetum strictae (PRSG. 1953) OBERD. 1957	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	-6,3	-1274
<b>BP 13 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Gley oder Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment über 50-90 cm Altem Hochflutlehm bis -ton über Terrassensand (qp)	-16,0	-1288
<b>BP 14 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	-16,0	-1288
<b>BP 15 LRT 6510</b> Dauco-Arrhenatheretum (Alopecurus-Subass.) BR.-BL. 1919	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	-16,0	-1141
<b>BP 20 LRT 9110</b> Luzulo albidae-Fagetum (typ. Subass.) MEUSEL 1937	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	-2,3	-966
<b>BP 21 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl.kies (qp)	-2,9	-1718
<b>BP 22 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	Gley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	2,1	-1483
<b>BP 23 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum (Carex brizoides-Subass.) MEUSEL 1937	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder	2,7	-784

Beurteilungspunkt/ LRT mit akt. Pflanzen- gesellschaft	Bodenform	Überschreitung durch die Hintergrunddeposition 2013- 2015	
		des CLeutN	des CL(S+N)
		[kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
	tiefer Terrassensand bis -kies (qp)		
<b>BP 24 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrium filix-femina- Subass.) MEUSEL 1937	Anmoorgley, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm, örtl. <30cm, Decksediment (Laacher Bimstuff, Flug- sand) über Flugsand, örtl. ab 60 cm oder tiefer Terrassensand bis -kies (qp)	-0,2	-1536
<b>BP 28 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laa- cher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	2,3	-1974
<b>BP 29 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Parabraunerde; 30- 60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand (qp-qh) über Al- tem Hochflutsand bis -lehm, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	-3,4	-1179
<b>BP 30 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Parabraunerde, 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,8	-1179
<b>BP 31 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit ab- gesenktem Grundwasser; 30-60 cm Deck- sediment (qp) oder Hochflutsand bis - lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	-4,0	-1893
<b>BP 32 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Braunerde, örtl. mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flug- sand, örtl. ab 80 cm oder tiefer Terras- sensand bis -kies (qp)	4,2	-1290
<b>BP 33 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	2,4	-1748
<b>BP 34 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <30 cm Decksediment (qp) oder Hochflutlehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm bis -ton, örtl. ab 100 cm oder tiefer Terrassensand (qp)	1,3	-1486
<b>BP 35 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Pseudogley; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	1,2	-1133
<b>BP 36 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley; >120 cm Lehm bis Ton der Bach- und Altläufe (qp-qh)	-5,6	-1384
<b>BP 37 LRT 9110</b> Luzulo-Fagetum sylvatici (Athyrium filix-femina- Subass.) MEUSEL 1937	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwas- ser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	-7,0	-2338
<b>BP 38 LRT 9160</b> Stellario holosteaee- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Pseudogley-Parabraunerde mit ab- gesenktem Grundwasser; 30-60 cm Deck- sediment (qp) oder Hochflutsand bis -lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,6	-1205

Beurteilungspunkt/ LRT mit akt. Pflanzen- gesellschaft	Bodenform	Überschreitung durch die Hintergrunddeposition 2013- 2015	
		des CLeutN	des CL(S+N)
		[kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
<b>BP 39 LRT 9160</b> Stellario holosteeae- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Gley-Parabraunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (qp) oder Hochflutsand bis lehm (qp-qh) über Altem Hochflutlehm (qp)	0,3	-1525
<b>BP 42 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Braunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Flugsand) über Flugsand (qp)	-2,2	-3136
<b>BP 43 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum (GAUME 24) TX. 1937	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand (örtl. über <50 cm äolischem oder fluviatilem Sand, über kiesigem Älterem Hochflutsand bis -lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	-4,1	-2296
<b>BP 44 LRT 9190</b> Fago-Quercetum (typ. Subass) LOHMEYER et TUXEN 1958	Parabraunerde; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <50cm äolischem und fluviatilem Sand, über teilweise carbonathaltigem Älterem Hochflutsand bis Lehm und/oder Terrassensand bis -kies (qp)	-2,4	-1981
<b>BP 45 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	-1,5	-2261
<b>BP 45 LRT 9190</b> Quercu roboris- Carpinetum betuli TX. 1937 (typ. Subass.)	Gley-Braunerde mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Flugsand, solifluidal verlagertem Flugsand, Schwemmfächersand bis -kies, örtl. Terrassensand bis -kies (qp)	-0,5	-1374
<b>BP 46 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	-6,8	-2260
<b>BP 46 LRT 9190</b> Aceri pseudoplatani- Tilietum cordatae HARTM. et JAHN 1967	Pseudogley-Gley mit abgesenktem Grundwasser; <50 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand) über Terrassensand bis -kies mit tonigem Schichten (qp)	-4,1	-1254
<b>BP 47 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum petraeae (Molinia-Subass.) TUXEN 1937	Gley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über >40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	-5,9	-3387
<b>BP 48 LRT 9190</b> Betulo-Quercetum roboris (Molinia-Subass.) (TX. 1937) SCAMONI et PASSARGE 1959	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwasser; 30-60 cm Decksediment (Laacher Bimstuff, Untergrundmaterial, Flugsand), örtl. über <40 cm lehmigem bis tonigem Altem Hochflutsand, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	-6,0	-1541

Beurteilungspunkt/ LRT mit akt. Pflanzen- gesellschaft	Bodenform	Überschreitung durch die Hintergrunddeposition 2013- 2015	
		des CLeutN	des CL(S+N)
		[kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	[eq N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
<b>BP 49 LRT 9190</b> Fago-Quercetum (typ. Subass.) LOHMEYER et TÜXEN 1958	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwas- ser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	3,3	-2812
<b>BP 50 LRT 91E0</b> Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	Anmoorgley; 60-120 cm Altlauftun (qp-qh) über Terrassensand (qp)	0,6	-1310
<b>BP 51 LRT 9160</b> Stellario holosteeae- Carpinetum betuli HARTMANN 1959	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwas- ser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	-8,7	-2360
<b>BP 51 LRT 9160</b> Aceri pseudoplatani- Tiliatum cordatae HARTM. et JAHN 1967	Anmoorgley mit abgesenktem Grundwas- ser; 50-100 cm Alter Hochflutton, örtl. bedeckt von <30 cm Decksediment, über Terrassensand, örtl. -kies (qp)	-14,2	-2587
<b>BP 52 LRT 91E0</b> Stellario-Alnetum (typ. Subass.) LOHMEYER 1957	Anmoorgley; 60-120 cm Altlauftun (qp-qh) über Terrassensand (qp)	-14,2	-3238

Da diese Beurteilungspunkte alle relevanten Ausprägungsformen der LRT erfassen, können folgende verallgemeinernde Aussagen für die entsprechenden Flächen in den FFH-Gebieten abgeleitet werden:

Der **CLeutN** wird im FFH-Gebiet Schwanheimer Wald auf 12 Teil-Flächen der Wald-LRT 9110, 9160, 9190 und 91E0 durch die Hintergrundbelastung 2013-2015 überschritten.

Im FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald werden die Wald-LRT (alle auf anhydromorphen Böden) 2013-2015 nicht mehr signifikant überbelastet. Dies wird bestätigt durch die bodenchemischen Analysen von Feldwisch (2012). Gleichzeitig belegen bereits die Analysenwerte, die im Rahmen des forstlich-ökologischen Beweissicherungsverfahrens im Planverfahren der Startbahn 18 West (Langzeit-Untersuchungen von 1981 bis 1991) erhoben wurden, diese Bewertung. Auch im gerichtlichen Verfahren zum Flughafenausbau beim VGH Kassel (vom 21.08.2009, 11 C 318/08.T) konnte nachgewiesen werden, dass die Critical Limits C/N, BS, pH, Bc/N und Bc/Al eingehalten waren. Somit konnte bereits 2009 die Annahme getroffen werden, dass (damals nicht ermittelte) Critical Loads nicht überschritten sein könnten, was mit diesem Gutachten bestätigt wird.

Die Flächen der LRT im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne wurden 2013-2015 ebenfalls nicht überbelastet.

Der **CL(S+N)** wird auf keiner LRT-Fläche durch die N+S-Depositionen der Jahre 2013-2015 überschritten.

## 7 Zusammenfassung

In den **FFH-Gebieten „Kelsterbacher Wald“, „Schwanheimer Wald“ und „Schwanheimer Düne“** gegebenenfalls durch das Planvorhaben betroffene Flächen weisen die LRT 2310 Trockene Sandheiden mit *Calluna* und *Genista*, 2330 Dünen mit offenen Grasflächen mit *Corynephorus* und *Agrostis*, 6230 Artenreiche montane Borstgrasrasen (und submontan auf dem europäischen Festland) auf Silikatböden, 6510 Magere Flachland-Mähwiesen (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*), 9110 Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum), 9130 Waldmeister-Buchenwald (*Asperulo-Fagetum*), 9160 Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald (*Stellario-Carpinetum*) und 91E0\* Auenwälder mit *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*) auf.

Für die nachhaltige Sicherung der pflanzensoziologischen Zielgesellschaften dieser Lebensräume wurden die Belastbarkeitsgrenzen in Form von Critical Loads ermittelt.

Für die FFH-Verträglichkeitsprüfung einer EBS-Verbrennungsanlage im Industriepark Höchst hatte die Autorin des vorliegenden Gutachtens bereits ein entsprechendes Gutachten vorgelegt (ÖKO-DATA 2013). Das nunmehr in unmittelbarer Nähe zur EBS geplante Vorhaben hat Auswirkungen auf dieselben Flächen der genannten FFH-Gebiete. Das bereits vorliegende Gutachten von ÖKO-DATA (2013) enthält Critical Loads für den versauernden und den eutrophierenden Luftschadstoffeintrag für 50 Beurteilungspunkte (BP) in den o.g. Natura-2000-Gebieten. Diese 50 BP sind auch für das vorliegende Gutachten weiterhin relevant.

Um dem Stand des Wissens bei der Ermittlung von Critical Loads zu entsprechen, ist jedoch eine Neuberechnung der Critical Loads für eutrophierende und versauernde Luftschadstoffeinträge an allen 50 Beurteilungspunkten auf der Grundlage aktuellster Methoden, Daten und rechtlichen Grundlagen erforderlich.

Für die Ermittlung von Critical Loads für eutrophierende N- und versauernde N+S-Einträge wird das **SMB-Modell** angewendet. Dabei werden im Wesentlichen die Methoden und Modelle zur Ermittlung der geochemischen Eingangsdaten entsprechend dem revidierten Manual des ICP MODELLING & MAPPING (CLRTAP 2017) unter Berücksichtigung von spezifischen für Deutschland notwendigen Anpassungen angewendet. Die vegetationspezifischen Eingangsdaten werden analog zum F- und E-Projekt der BAST mittels **BERN-Modell** bestimmt. Im hier zu untersuchenden Beurteilungsgebiet fließen aber auch *standortspezifische* Eingangsdaten ergänzend zu den Methoden des BAST-Projektes, bei dem die CL-Ermittlung für *typische* Ausprägungen der LRT erfolgte, ein. Bereits durch Vorbelastungen verursachte Veränderungen des Stickstoffhaushaltes werden mittels einer dynamischen Modellierung mit dem **DECOMP-Modell** berücksichtigt.

Die so ermittelten **Critical Loads für den eutrophierenden Stickstoffeintrag (CLeutN)** liegen zwischen gerundeten  $9 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im LRT 9160 und  $28 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im LRT 6510.

Der **CLeutN** wird im FFH-Gebiet Schwanheimer Wald auf 12 Teil-Flächen der Wald-LRT 9110, 9160, 9190 und 91E0 durch die Hintergrundbelastung 2013-2015 überschritten.

Im FFH-Gebiet Kelsterbacher Wald werden die Wald-LRT (alle auf anhydromorphen Böden) 2013-2015 nicht mehr signifikant überbelastet. Dies wird bestätigt durch die bodenchemischen Analysen von Feldwisch (2012). Gleichzeitig belegen bereits die Analysenwerte, die im Rahmen des forstlich-ökologischen Beweissicherungsverfahrens im Planverfahren der Startbahn 18 West (Langzeit-Untersuchungen von 1981 bis 1991) erhoben wurden, diese Bewertung. Auch im gerichtlichen Verfahren zum Flughafenausbau beim VGH Kassel (vom 21.08.2009, 11 C 318/08.T) konnte nachgewiesen werden, dass die Critical Limits C/N, BS, pH, Bc/N und Bc/Al eingehalten waren. Somit konnte bereits 2009 die Annahme getroffen werden, dass (damals nicht ermittelte) Critical Loads nicht überschritten sein könnten, was mit diesem Gutachten bestätigt wird.

Die Flächen der LRT im FFH-Gebiet Schwanheimer Düne wurden 2013-2015 ebenfalls nicht überbelastet.

Die ermittelten **Critical Loads für den versauernden Stickstoff- und Schwefeleintrag (CL(S+N))** liegen zwischen gerundeten  $1522 \text{ eq N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im LRT 6510 (erodierte Braunerde) und  $4636 \text{ eq N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im LRT 9190 (Bimstuff über lehmig-tonigem Substrat).

Der **CL(S+N)** wird auf keiner LRT-Fläche durch die N+S-Depositionen der Jahre 2013-2015 überschritten.

Die 2012 erhobenen **bodenchemischen Analysen** des pH-Wertes und der Basensättigung zeigen, dass nur am **Beurteilungspunkt 23** (LRT 9110 auf Anmoorgley) die pH-Werte unterhalb des bodentypischen Bereiches liegen. Diese Fläche muss als endversauert angesehen werden. Der CL(S+N) wird dadurch entsprechend sehr niedrig. Auf allen anderen LRT-Flächen sind trotz langzeitiger Überschreitungen des CL(S+N) keine irreversiblen Bodendegradierungen durch Versauerung eingetreten. Die versauernden Hintergrundbelastungen sind im UG bereits seit 1980 rückläufig. Somit ist auch nicht damit zu rechnen, dass latente Schäden noch nicht sichtbar geworden sein könnten. Eine Verschlechterung des Erhaltungszustandes aufgrund von Säureeinträgen durch die Hintergrundbelastung kann daher ausgeschlossen werden.

Strausberg, am 1.4.2019



PD Dr. habil. Angela Schlutow

## Literatur

- Aber, J. D., Nadelhoffer, K. J., Steudler, P., Melillo, J. M. (1989): Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *Bioscience*, 39:378-386.
- Achermann, B., Bobbink, R. (eds.) (2003): Empirical critical loads for nitrogen: Expert workshop, Berne, 11-13 November 2002. Environmental Documentation 164, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape.
- AG Boden (Arbeitsgruppe Boden) (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), Hannover.
- AG FFH-Verträglichkeitsprüfung (1999): Handlungsrahmen für die FFH-Verträglichkeitsprüfung in der Praxis. *Natur und Landschaft* 74 (2).
- Amberger, A. (1988): Pflanzenernährung – Ökologische und physiologische Grundlagen, Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. 3. Aufl., Ulmer Stuttgart, S. 118 ff.
- Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 206 (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen.
- ANDERS, S., BECK, W., BOLTE, A., HOFMANN, G., JENSSEN, M., KRAKAU, U.-K., MÜLLER, J. (2002): Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands – Einfluss von Niederschlagsarmut und erhöhtem Stickstoffeintrag auf Kiefern-, Eichen-, und Buchenwald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflandes, Verlag Dr. Kessel Oberwinter, Eberswalde. 283 S.
- Bach, M. (1987): Die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. *Göttinger Bodenkundliche Berichte* 93, Göttingen, 186 S.
- BALLA, S., MÜLLER-PFAFFENSTIEL, K., UHL, R., KIEBEL, A., LÜTTMANN, J., LORENTZ, H., DÜRING, I., SCHLUTOW, A., FÖRSTER, M., BECKER, C., HERZOG, W. (2012): Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotop. Endbericht zu FE 84.0102/2009 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). 427 S. Bergisch Gladbach. im Druck
- BAUER, F. (1953): Die Roteiche, D. Sauerländer'scher Verlag. Frankfurt (a. M.). 108 S.
- Baumann, W., Biedermann, U., Breuer, W., Herbert, M., Kallmann, J., Rudolf, E., Wehrich, D., Weyrath, U., Winkelbrandt, A. (1999): Naturschutzfachliche Anforderungen an die Prüfung von Projekten und Plänen nach § 19c und § 19d BNatSchG (Verträglichkeit, Unzulässigkeit, Ausnahmen). –*Natur und Landschaft* 11, 463-472.
- Beese, F. (1984): Raumzeitliche Muster des N-Umsatzes und N-Transportes in sauren Waldböden. Unveröffentlichter Bericht
- Beese, F. (1986): Parameter des Stickstoffumsatzes in Ökosystemen mit Böden unterschiedlicher Acidität. *Göttinger Bodenkdl Ber* 90:1–344
- Begon, M. E., Harper, J. L., Townsend, C. R. (1998): Ökologie, Spektrum, Berlin.
- Belyazid, S. (2006): Dynamic modelling of biogeochemical processes in forest ecosystems. Doctoral Thesis. Lund Institut of Technology, Lund University, Sweden, p. 19-24
- BFN (Bundesamt für Naturschutz (2004): Bewertungsschemata für Lebensraumtypen nach Anhang I FFH-Richtlinie. [www.bfn.de/03/030306.htm](http://www.bfn.de/03/030306.htm)
- BFN (Bundesamt für Naturschutz) (Hrsg.) (2003) Karte der potenziell natürlichen Vegetation von Deutschland und Umgebung. Deutschland. Online im Internet: URL: [www.floraweb.de/pnv/index.htm](http://www.floraweb.de/pnv/index.htm).

- BGR (Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe) (Hrsg.) (2014): Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte 1 : 1 000 000 (BÜK1000N) für Deutschland (Wald, Grünland, Acker).
- Bierhals, E., Kiemstedt, H., Panteleit, W. (1984): (zitiert in: Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (1987) siehe dort).
- Block, J. (1994): Stickstoffausträge mit dem Sickerwasser aus Waldökosystemen, Wirkungskomplex Stickstoff und Wald. IMA-Querschnittseminar, UBA Berlin
- Blume, H.-P., Brümmer, G. (1991): Prediction of heavy metal behavior in soil by means of simple fieldtests. *Z Ecotoxicol Environ Savety* 22:164–174
- Blume, H.-P., Schimmig, C. G., Zinck, M. (1989): Wasser-, Nähr- und Schadstoffdynamik charakteristischer Böden Schleswig-Holsteins. Forschungsbericht BMFT, 03-7311-7
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bauwesen und Städtebau (2013): Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope. Endbericht zum FE-Vorhaben 84.0102/2009 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, verfasst von Balla, S., Uhl, R., Schlutow, A., Lorentz, H., Förster, M., Becker, C., Scheuschner, Th., Kiebel, A., Herzog, W., Düring, I., Lüttmann, J., Müller-Pfannenstiel, K.= Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1099, BMVBS Abteilung Straßenbau, Bonn. 362 S.
- Bobbink, R., Achermann, B. (Hrsg.) (2002): Empirical Critical Loads for Nitrogen. Proceedings of the Expert work-shop in Berne 11-13 November 2002. Environmental Documentation No. 164 - Air (Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape SAEFL)
- Bobbink, R., Hettelingh, J.-P. (Hrsg.) (2011): Review and revision of Empirical Critical Loads and dose-response relationships. Proceedings of the Expert workshop in Nordwijkerhout 23-25 June 2010. National Institute for Public Health and the Environment Bilthoven, Netherlands
- Böckmann, T. (1990): Wachstum und Ertrag der Winterlinde (*Tilia cordata*) in Niedersachsen und Nordhessen. Dissertation der Georg-August-Universität Göttingen, 143 S. (zzgl. Anhang)
- Bohner, A., Eder, G., Schink, M. (2007): Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 91-99.
- Boillot, F., Vignault, M.-P., de Benito, J. M. (1997): Process for assessing national lists of proposed sites of community interest (pSCI) at biogeographical level. *Natur und Landschaft* 72, Heft 11, S. 474 - 476.
- Bolte, A. (2006): Biomasse- und Elementvorräte der Bodenvegetation auf Flächen des forstlichen Umweltmonitorings in Rheinland-Pfalz. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 72, Göttingen, 29 S. + Anhänge.
- Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer-Verlag Berlin 1928 = Biologische Studienbücher Bd. 7; 2. umgearb. u. verm. Aufl. Springer-Verlag Wien u. New York 1951; 3. neubearb. und wesentlich verm. Aufl. ebd. 1964.
- Bredemeier, M. (1987): Stoffbilanzen, interne Protonenproduktion und Gesamtsäurebelastung des Bodens in verschiedenen Waldökosystemen Norddeutschlands. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Rh. A, Bd 33
- Brenner, S., Pfeffer, E., Schumacher, W. (2004): Extensive Schafbeweidung von Magerrasen im Hinblick auf Nährstoffentzug und Futterselektion. *Natur und Landschaft* 4: 167-174.
- Briemle, G., Eickhoff, D., Wolf, R. (1991): Mindestpflege und Mindestnutzung unterschiedlicher Grünlandtypen aus landschaftsökologischer und landeskultureller Sicht. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft (LVVG) (Hrsg.). Beiheft 60 zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg. Karlsruhe, 160 S.

- Brünner, F., Schöllhorn, J. (1972): Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden. 2., umgearb. u. erw. Aufl.. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 166 S.
- Brunold, C. (1996): Stress bei Pflanzen. UTB Verlag.
- Burmeister, J. (2004): Zur Prüfung der Erheblichkeit von Beeinträchtigungen der Natura-2000-Gebiete gemäß § 34 BNatSchG im Rahmen einer FFH-Verträglichkeitsprüfung (LANA-Empfehlungen). - Natur und Recht Jg. 26, H. 05/04: 296-303.
- Burrows, C. J. (1990): Processes of vegetation change, Unwin Hyman, London.
- Burse, K., Schlutow, A., Stubenrauch, F., Scheuschner, Th., Nagel, H.-D., Weigelt-Kirchner, R. (2011): Waldboden-zustandsbericht für Thüringen – Auswertung der BZE II -. Im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei.
- Büttner, G., Lamersdorf, N., Schultz, R., Ulrich, B. (1986): Deposition und Verteilung chemischer Elemente in küs-tennahen Waldstandorten – Fallstudie Wingst. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Rh. B, Bd 1
- Callaway, R. M. (1995): Positive interactions among plants. Bot. Rev. 61: 306-349.
- Cassens-Sasse, E. (1987): Witterungsbedingte saisonale Versauerungsschübe im Boden zweier Waldökosysteme. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/ Waldsterben, Rh. A, Bd. 30
- CCE – Coordination Centre for Effects (2015): Modelling and Mapping the Impacts of Atmospheric Deposition of Nitrogen and Sulphur, CCE Status Report 2015, Coordination Centre for Effects, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- Clements, F. E. (1916): Plant succession. Carnegie Institute Washington Publication #242 controlled by forest floor C/N ratio. Environmental Pollution 102: 403-407.
- CLRTAP (2004): Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. Druckversion in UBA-Texte 52/2004
- CLRTAP (2014): Guidance on mapping concentrations levels and deposition levels, Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Online-Version unter [www.icpmapping.org](http://www.icpmapping.org).
- CLRTAP (2017): Latest update of Guidance on mapping concentrations levels and deposition levels, Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Online-Version unter [www.icpmapping.org](http://www.icpmapping.org).
- De Vries, W. (1991): Methodologies for the assessment and mapping of the Critical Loads and of the impact of abatement strategies on forest soils. Wageningen 46
- De Vries, W., Hol, A., Tjalma, S., Voogd, J. C. (1990): Amounts and turnover rates of elements in forest ecosystems: A literature study. Winand Staring Center Report. Wageningen, the Netherlands
- De Vries, W., Kros, J., Reinds, G. J., Wamelink, W., Mol, J., van Dobben, H., Bobbink, R., Emmett, B., Smart, S., Evans, C., Schlutow, A., Kraft, P., Belyazid, S., Sverdrup, H., van Hinsberg, A., Posch, M., Hettelingh, J.-P. (2007): Developments in modelling critical nitrogen loads for terrestrial ecosystems in Europe. Wageningen, the Netherlands, Alterra Green World Research, Report 1382, 206 p.
- De Vries, W., Posch, M. (2003): Derivation of cation exchange constants for sand, loess, clay and peat soils on the basis of field measurements in the Netherlands. Alterra-Rapport 701, Alterra Green World Research, Wageningen, The Netherlands, 50 p.

- De Vries, W., Posch, M., Reinds, G. J., Kämäri, J. (1993): Critical Loads and their exceedance on forest soils in Europe. The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen, The Netherlands, 58 p.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2011a): Mittlere monatliche Niederschlagsmengen für die Monate Januar-Dezember aus dem Zeitraum 1971-2000. Rasterdatei
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2011b): Mittlere Tagesmitteltemperatur der Referenzperiode 1971-2000 für Sommer und Winter. Rasterdatei
- Dierschke, H. (1985a): Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen in Wäldern Süd-Niedersachsens. II. Syntaxonomische Übersicht der Laubwald-Gesellschaften und Gliederung der Buchenwälder. - *Tuexenia* 5, S. 491-521. Göttingen.
- Dierschke, H. (1985b): Experimentelle Untersuchungen zur Bestandesdynamik von Kalkmagerasen (Mesobromion) in Südniedersachsen. I. Vegetationsentwicklung auf Dauerflächen 1972-1984. - In: Schreiber, K.-F. (Hrsg.): Sukzession auf Grünlandbrachen. *Münstersche Geogr. Arb.* 20, S. 9-24, Paderborn.
- Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie, Ulmer, Stuttgart.
- Dierschke, H. und Briemle, G. (2008): Kulturgrasland. Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren. - Ulmer-Verlag, Stuttgart, 239 S.
- Dubois, D., Prade, H. (1997): The three semantics of fuzzy sets, *Fuzzy sets and fuzzy systems* 90: 141-150.
- Durka W (1994): Isotopenchemie des Nitrat, Nitrataustrag, Wasserchemie und Vegetation von Waldquellen im Fichtelgebirge. *Bayreuther Forum Ökologie*, Bd 11
- Ebermayer, E. (1876): Die gesamte Lehre von der Waldstreu. Berlin
- EG VO 338/97 (1997): Verordnung (EG) Nr. 338/97 des Rates vom 9. Dezember 1996 über den Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels (ABl. L 61 vom 3.3.1997, S. 1).
- EG-VOGELSCHUTZRICHTLINIE (EG-VSRL) (2009): Richtlinie 2009/147/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (kodifizierte Fassung).
- Ellenberg H, Mayer R, Schauermann J (1986): Ökosystemforschung. Ergebnisse des Solling-Projekts 1966–1986, Ulmer, Stuttgart
- Ellenberg, H. (1974): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. *Scripta Botanica* (Göttingen) 122 S.
- Ellenberg, H. (1979): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. *Scripta Botanica* (Göttingen), 2. Aufl. 97 S.
- Ellenberg, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht, 5. stark veränd. und verb. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- Ellenberg, H. (2001): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. *Scripta Botanica* (Göttingen), 3. Durchgesehene Aufl. 262 S.
- ELLENBERG, H., LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 6., völlig neu bearb. und stark erw. Aufl., UTB Verlag. Stuttgart. 1357 S.
- Elsässer, M. (2007): Düngung von Wiesen und Weiden. In: Bildungs- und Wissenszentrum für Viehhaltung, Grünlandwirtschaft, Wild und Fischerei, Aulendorf (Hrsg.) (2008): Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr. 13, 4. Auflage.
- Erteld, E., Hengst, E. (1966): Waldetragslehre. Neumann, Radebeul, 332 S.

- ERTELD, W. (1952): Ertragstafel der Robinie, mäßige Durchforstung. In: Erteld, W. (1963): Ertragstafelauszüge. Für den Gebrauch in der Praxis. 2. neu bearb. u. ergänzte Aufl., Neumann-Verlag Radebeul.
- EU-Kommission (2001) in: Europäische Kommission, GD Umwelt, Prüfung der Verträglichkeit von Plänen und Projekten mit erheblichen Auswirkungen auf „Natura-2000“-Gebiete – Methodische Leitlinien zur Erfüllung der Vorgaben des Artikels 6 Absätze 3 und 4 der Habitat-Richtlinie 92/43/EWG, November 2001, S. 16
- Europäische Kommission (1999): Klageschrift der Kommission gegen die Bundesrepublik Deutschland vom 24. Februar 1999. Juristischer Dienst d. Kommission, Brüssel.
- Europäische Kommission (2000): NATURA 2000-Gebietsmanagement. Die Vorgaben des Artikels 6 der Habitat-Richtlinie 92/43 EWG.
- European Commission DG XI (1999): Interpretation manual of european union habitats. Version EUR15. Brüssel.
- Eurosoil (1999): Metadata: Soil Geographical Data Base of Europe v.3.2.8.0. Joint Research Centre, Ispra, Italy.
- EUROSOIL (2007): Metadata: Soil Geographical Data Base of Europe v.3.2.8.0. Joint Research Centre, Ispra, Italy.
- Faber, A. (1936): Über Waldgesellschaften auf Kalksteinböden und ihre Entwicklung im Schwäbisch-Fränkischen Stufenland und auf der Alb. Anh. z. Vers.-Ber. 1936 der Landesgr. Württ. d. Deutschen Forstvereins, 53 S., Tübingen
- FELDWISCH (2013): Bodenanalysen zur EBS Verberennungsanlage. Stand: 12.04.2013.
- Fiedler, H.-J. (2001): Böden und Bodenfunktionen: in Ökosystemen, Landschaften und Ballungsgebieten. Expert-Verlag Renningen-Malmsheim. Forum EIPOS, Bd. 7 , 459 S.
- FLORA-FAUNA-HABITAT-RICHTLINIE (FFH-RL) (2006): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (ABl. L 206 vom 22.7.1992, S. 7), zuletzt geändert durch Richtlinie 2006/105/EG des Rates vom 20. November 2006.
- FÖA (Landschaftsplanung GmbH, faunistisch-ökologische Arbeitsgemeinschaft Trier) (2009): Bestimmung der Erheblichkeit und Beachtung von Summationswirkungen in der FFH-Verträglichkeitsprüfung - Experten-workshop - vom 27.10. bis 29.10.2009. Bundesamt für Naturschutz, Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm. Tagungsbericht. Bergenhusen 15.11.2009.
- Foster, N. W. (1989): Influences of seasonal temperature on nitrogen and sulfur mineralization/immobilization in a maple-birch forest floor in central Ontario. In: Can. J. Soil Science 69:501-514.
- Froelich & Sporbeck Landschafts- und Ortsplanung, Umweltplanung (2002): Leitfaden zur Durchführung von FFH-Verträglichkeitsuntersuchungen in Nordrhein-Westfalen. Erstellt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Bochum.
- Gehrmann, J. (2012): Blattanalyse von Buchenblättern an 3 Buchen am BZE-Punkt 206 im Cappenberger Wald im Jahr 2008 (schrift. Mitt. vom 10.1.2012)
- Gellermann, M. (2001): Natura 2000. Blackwell, Berlin, Wien.
- Glavac, V. (1996): Vegetationsökologie, Fischer, Jena, 125 p.
- GOEBEL, W., GILLEN, G., SIMON, O., DIETZ, M. (2004): Grunddatenerfassung für das FFH-Gebiet Nr. 5917-303 Kelsterbacher Wald. Gutachten i. A. des Regierungspräsidium Darmstadt. Darmstadt. unveröffentl.

- Grabherr, G., Mucina, L. (1993): Die Pflanzengesellschaften Österreichs, Teile II-III. Gustav-Fischer-Verlag Jena, Stuttgart, New York.
- Grennfelt, P., Thörnelöf, E. (Hrsg.) (1992): Critical loads for nitrogen. Report from a workshop held at Lökeberg, Sweden, April 1992
- Gulder, H.-J., Kölbl, M. (1993): Waldbodeninventur in Bayern. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 132
- Gundersen, P., Callesen, I., De Vries, W. (1998): Nitrate leaching in forest ecosystems is controlled by forest floor C/N ratio. *Environmental Pollution* 102:403-407
- Hall, J., Ulyett, J., Wadsworth, R., Reynolds, B. (2007): The applicability of national critical loads data in assessing designated sites. *Water, Air & Soil Pollution* 7, Nr. 1-3, S. 413-419.
- Hantschel, R. (1987): Wasser- und Elementbilanz von geschädigten, gedüngten Fichtenökosystemen im Fichtelgebirge unter Berücksichtigung von physikalischer und chemischer Bodenheterogenität. *Bayreuther Bodenkdl Ber* 3 140 Kapitel 2
- Hantschel, R., Kaupenjohann, M., Horn, R., Zech, W. (1988): Acid rain studies in the Fichtelgebirge (NEBavaria). In: Mathy P (ed) *Air pollution and ecosystem*. Reidel, Dordrecht
- Härdtle, W. (1984): Vegetationskundliche Untersuchungen in Salzwiesen der Ostholsteinischen Ostseeküste. *Mitteilungen der AG Geobotanik in Schlesw-Holst. und Hamburg, Kiel*, Heft 48, 415 S.
- Härdtle, W. (1989): Potentiell Natürliche Vegetation - Ein Beitrag zur Kartierungsmethode am Beispiel der Topographischen Karte 1623 Owschlag. *Mitteilungen der AG Geobotanik in Schlesw-Holst. und Hamburg, Kiel*, Heft 40, 73 S.
- Härdtle, W. (1995a): Vegetation und Standort der Laubwaldgesellschaften (Querco-Fagetea) im Nördlichen Schleswig-Holstein. *Mitteilungen der AG Geobotanik in Schlesw-Holst. und Hamburg, Kiel*, Heft 48, 415 S.
- Härdtle, W. (1995b): Zur Systematik und Synökologie artenarmer Buchenwälder (Flutter-Gras-/Sauerklee-Buchenwälder) in Schleswig-Holstein. *Tuexenia* 15, S. 45-51, Göttingen.
- HÄRTLE, W., EWALD, J., HÖLZEL, N. (2004): Wälder des Tieflandes und der Mittelgebirge, Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 250 S.
- Hartmann, F.-K., Jahn, G. (1967): Waldgesellschaften des mitteleuropäischen Gebirgsraumes nördlich der Alpen, Jena, 636 p.
- Hicks, W. K., Ashmore, M. (2005): Local impacts of road Vehicles. Implication of local ecological impacts of road vehicles for the exceedance of NOx annual limit values and air quality objectives. DEFRA Contract SPU 24.
- Hilbig, W., Heinrich, W., Niemann, E. (1972): Übersicht über die Pflanzengesellschaften des südlichen Teiles der DDR. IV: Die nitrophilen Saumgesellschaften. *Hereyna N. F.* 9, S. 229-270, Leipzig.
- Hofmann, G. (1969): Zur pflanzensoziologischen Gliederung der Kiefernforsten des nordost-deutschen Tieflandes, in: *Feddes Repertorium* (Bd. 80, Heft 4-6), Berlin, pp. 401-412.
- Hofmann, G., Heinsdorf, D., Krauss, H. H. (1990): Wirkung atmosphärischer Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefern-Forstökosystemen. *Beitr. Forstwirtschaft.*, 24: 59-73.
- Hornung, M., Sutton, M. A., Wilson, R. B. (1995): Mapping and Modelling of Critical Loads for Nitrogen: a Workshop Report. Grange-Over-Sands Workshop, 24-26 October 1994.
- Hundt, R. (1964): Die Bergwiesen des Harzes, Thüringer Waldes und Erzgebirges. Gustav Fischer Verlag Jena, 284 S.
- ICP Forest (2011): The Condition of Forests in Europe - 2011 Executive Report. Download unter: <http://www.icp-forests.org/pdf/ER2011.pdf>

- IPCC (2001): *Climate change 2000*. Cambridge University Press, Cambridge
- Issler, E. (1924): *Les associations végétales des Vosges méridionales et de la plaine rhénane avoisinante*. 1. *Les forêts* (fin). Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar, Tom. 19 : 1 - 109.
- Issler, E. (1926): *Les associations végétales de la partie supérieure de la vallée de la Lane*. Thèse, 120 S., Besançon.
- Issler, E. (1942): *Vegetationskunde der Vogesen*. Pflanzensoziologie Band 5, Gustav Fischer Verlag Jena, 161 S.
- Jacobsen, C., Rademacher, P., Meesenburg, H., Meiwes, K. J. (2002): *Element-Gehalte in Baum-Kompartimenten: Literatur-Studie und Datensammlung*. Göttingen: Niedersächsisches Forstliche Versuchsanstalt, Report, p 80
- Jakucs, P. (1961): *Die phytozöologischen Verhältnisse der Flaumeichen – Buschwälder Südostmitteleuropas*, Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest 1961, 313 p.
- Jenssen, M., Hofmann, G. (2005): *Einfluss atmosphärischer Stickstoffeinträge auf die Vielfalt der Vegetation in Wäldern Nordostdeutschlands*. Beiträge zur Forstwirtschaft und Landschaftsökologie, 39: 132-141.
- Keienburg, T. und Prüter, J. (Hrsg.) (2004): *Feuer und Beweidung als Instrumente zur Erhaltung magerer Offenlandschaften in Nordwestdeutschland – Ökologische und sozioökonomische Grundlagen des Heidemanagements auf Sand- und Hochmoorstandorten*. NNA-Berichte (17) Heft 2 Schneverdingen 221 S.
- Kevey, B., Borhidi, A. (2005): *The acidophilous forests of the Mecsek and their relationship with the Balkan-Pannonian acidophilous forests*, in: *Acta Botanica Hungarica* 47 (3-4), Budapest, pp. 273-368.
- KifL - Mierwald, U., Garniel, A. (2008): *Bewertung von Stickstoffeinträgen im Kontext der FFH-Verträglichkeitsstudie*. Kieler Institut für Landschaftsökologie. Manuskriptdruck. 47 S.
- Kirchner, M., Fischer, A., Jakobi, G., Bernhardt, M. (2006): *Untersuchungen des Zustandes von Ökosystemen im Alpenvorland entlang von Gradienten des Stickstoffeintrags*. Schlussbericht. Forschungsprojekt im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, StMUGV-Förderkennzeichen: 76a-8731.2 – 1999/1 GSF-FE-Nr.: 76425. Online im Internet: URL: <http://www.stmug.bayern.de/umwelt/luftreinhaltung/download/index.htm> [Stand 20.01.2012].
- Klap, J. M., De Vries, W., Erisman, J. W., Van Leeuwen, E. P. (1997): *Relationships between forest condition and natural and anthropogenic stress factors on the European scale; pilot study*. DLO Winard Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Report 150
- Klapp, E. (1954): *Wiesen und Weiden*. 2., völlig neu gestaltete Aufl., Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg. 519 S.
- Klapp, E. (1965): *Grünlandvegetation und Standort – nach Beispielen aus West-, Mittel- und Süddeutschland*. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey
- Klink, J.-H. (1969): *Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 112 Kassel*. Geographische Landesaufnahme 1:200.000, Naturräumliche Gliederung Deutschlands.
- Knapp, E. (1973), *Ertragstabellen für Schwarzpappelsorten*. Forschungsbericht des Instituts für Rohholzerzeugung, Abteilung. Waldbau/Ertragskunde. Eberswalde, 1973.
- Koch, W. (1926): *Die Vegetationseinheiten der Linthebene unter Berücksichtigung der Verhältnisse in der Nordostschweiz*. Jb. Naturwiss. Ges. St. Gallen 61, 144 S., St. Gallen.
- Kölling, C. (1993): *Die Zusammensetzung der Bodenlösung in sturmgeworfenen Fichtenforst (Picea abies (L.) Karst.) -Ökosystemen*. Forstl Forschungsber München, Nr. 133

- Konopatzky, A., Kirschner, G. (1997): Zum Standorts- und Vegetationswandel in den Wäldern der Länder Bran-denburg, Mecklenburg-Vorpommern und des Tiefland-teils von Sachsen-Anhalt, Berichte Universität Göttin-gen. Reihe B, Bd. 56/1997.
- Kopecký, K., Hejny, S., Jehlik, V., Krippelová, T. (1979): Prehled ruderalnich rostlinnych společenstev Ceskoslo-venska, Rozpravy Ceskoslovenske Akademie Ved. Rada Matematiky a prirodnich Ved. 89:2, Praha.
- Kopp, D. (2003): Zusammenwirken von Standort und Vegetation bei der Erkundung des Zustandswandels von Waldnaturräumen im nordostdeutschen Tiefland. Archiv Naturschutz und Landschaftsforschung 42 (1):1-50.
- Kopp, D., Succow, M., Jäger, K.-D. (1982): Naturräumliche Grundlagen der Landnutzung im nordmitteleuropäi-schen Tiefland, dargestellt am Beispiel des Tieflands der DDR. Akademie-Verlag Berlin.
- Köstler, J. N., Brückner, E. Bibelriether, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin . 284 Seiten
- Kreutzer, K., Deschu, E., Hösl, G. (1986): Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und Buche (*Fagus silvatica* L.) auf die Sickerwasserqualität. Forstw Cb 1
- Kreutzer, K., Heil, K. (1989): Untersuchungen zum Stoffhaushalt in einem Fichtenbestand der Hochlagen des Baye-rischen Waldes. GSF-Bericht, Neuherberg
- Kreutzer, K., Weiger, H. (1974): Untersuchungen über den Einfluß forstlicher Düngungsmaßnahmen auf den Nitrat-gehalt des Sickerwassers im Wald. Forstw Cb 93
- Lambrecht, H., Trautner, J. (2007): Fachinformationssystem und Fachkonventionen zur Bestimmung der Erheb-lichkeit im Rahmen der FFH-VP. – Endbericht zum Teil Fachkonventionen, Schlusstand Juni 2007. F+E-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz - FKZ 804 82 004 [unter Mitarb. von Ko-ckelke, K.; Steiner, R.; Brinkmann, R.; Bernotat, D; Gassner, E. & Kaule, G.]. - Hannover, Filderstadt, 239 S. Online im Internet: URL: [http://www.bfn.de/0306\\_eingriffsregelung-literatur.html#c81713](http://www.bfn.de/0306_eingriffsregelung-literatur.html#c81713) [Stand 20.01.2012].
- Lambrecht, H., Trautner, J., Kaule, G., Gassner, E. (2004): Ermittlung von erheblichen Beeinträchtigungen im Rah-men der FFH-Verträglichkeitsuntersuchung. Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz – FKZ 801 82 130. Endbericht 316 S. Hannover, Fiderstadt, Stuttgart, Bonn ([http://www.bfn.de/03/0303\\_ffhvertraeglich.pdf](http://www.bfn.de/03/0303_ffhvertraeglich.pdf))
- LANA (Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz) (2004): Empfehlungen der LANA zu „Anforderungen an die Prü-fung der Erheblichkeit von Beeinträchtigungen der Natura 2000-Gebiete gemäß § 34 BNatSchG im Rahmen einer FFH-Verträglichkeitsprüfung (FFH-VP)“
- LENKER, K.-H., BUTTLER, K.-P., THIEMER, M., KORTE, E. (2003): Grunddatenerfassung für Monitoring und Management im FFH-Gebiet 5917-301 Schwanheimer Düne. Gutachten i. A. des Regierungspräsidium Darmstadt. Darmstadt. unveröffentl.
- Libbert, W. (1931): Die Pflanzengesellschaften im Überschwemmungsgebiet der unteren Warthe in ihrer Abhängigkeit vom Wasserstande. Naturwiss. Ver. Neumark 3.
- Limmer, C. (1996): N<sub>2</sub>-Fixierung in Waldböden. Diss. am Institut für Ökologische Mikrobiolo-gie (BITÖK) der Uni-versität Bayreuth. Bayreuther Forum Ökologie, Bd. 35 (1996), 80 S.
- Lohmeyer, W. (1957): Der Hainmieren-Schwarzerlenwald [Stellario-Alnetum glutinosae (Kästner 1938)]. Mitt. flor.-soz. Arb.gem. N. F. 6/7, S. 247-257, Stolzenau/W.
- Louis, H. W. (2003): Verträglichkeitsprüfung nach §§32ff. BNatSchG. Umsetzung für europäi-sche Schutzgebiete, Verfahren, Darlegungslast und Abweichungsverfahren. Naturschutz und Landschaftsplanung 35 (4).

- Luthardt, V., Brauner, O., Hoffmann, C., Hagenmüller, K. (2008): Lebensräume im Wandel. Jahresbericht der ökosystemaren Umweltbeobachtung (ÖUB) zum Offenland des Biosphärenreservates Flusslandschaft Elbe und des Biosphärenreservates Schorfheide-Chorin: Zeitreihenuntersuchungen des Mineralischen Graslandes und des entwässerten, landwirtschaftlich genutzten und aufgelassenen Moorgraslandes (zzgl. 3-jährige Parameter der naturnahen Moore im BR SC). Fachhochschule Eberswalde – Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz.
- Lützke, R., Müller, J., Krumnow, C., Kirchhoff, K.-H. (1990): Wasserhaushalt von forstlichen Bestockungen mit unterschiedlichen Baumarten auf Sandstandorten des ostdeutschen Tieflands. Forschungsbericht der Forschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Eberswalde.
- Maas, R., Grennfelt, P. (eds.) 2016: Towards Cleaner Air, Scientific Assessment Report 2016. EMEP Steering Body and Working Group on Effects of the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Oslo
- Mahn, E.-G. (1965): Vegetationsaufbau und Standortsverhältnisse der kontinental beeinflussten Xerothermrassen-gesellschaften Mitteldeutschlands, in: Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Akademie-Verlag, Berlin, 138 p.
- Martin, K. (2002): Ökologie der Biozönosen, Springer, Berlin.
- MATUSZKIEWICZ, W. (1962): "Zur Systematik der natürlichen Kiefernwälder des mittel- und osteuropäischen Flachlandes". Mitt. flor.-soz. Arbeitsgem. N. F. (Stolzenau / Weser) 9: 145–186.
- Matzner, E. (1988): Der Stoffumsatz zweier Waldökosysteme im Solling. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Rh. A, 40.
- Meiwes, K. J., Beese, F. (1988): Ergebnisse der Untersuchung des Stoffhaushaltes eines Buchenwaldökosystems auf Kalkgestein. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Reihe B, Bd 9, 143 S
- Michalko, J. (1986): Geobotanická Mapa CSSR, Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie Vied, Bratislava, 263 p.
- Mitscherlich, G. (1945): Schwarzerlen-Ertragstafel (starke Durchforstung) In: Schober, R. 1975: Ertragstabeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung; J. D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main, 154 S.
- Mitscherlich, G. (1950): Der Eichenbestand mit Bu- und Ta-Unterstand. Schriftenreihe der Bad. Forstl. V.A. Bd. 9
- Moor, M. (1958): Die Pflanzengesellschaften schweizerischer Flussauen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. 34, 221-360, Zürich.
- MUCINA, L., GRABHERR, G., WALLNHÖFER, S. GUSTAV-FISCHER-VERLAG (1993): Die Pflanzengesellschaften Österreichs, Teil I bis III, Jena.
- Mückenhausen, E. (1993): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und pet-rographischen Grundlagen. 4. Aufl. Frankfurt (M.), DLG-Verlag.
- Müller, G. (1980): Pflanzenproduktion – Bodenkunde. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag
- MÜLLER, T. (1990): "Die Eichen-Hainbuchen-Wälder (Verband Carpinion betuli Issl. 31 em. Oberd. 53) Süddeutschlands". Ber. d. Reinh. Tüxen-Ges. Hannover 2: 121–184.
- MÜLLER-PFAFFENSTIEL, K., BALLA, S. (2013): Gutachterliche Stellungnahme zur FFH-Verträglichkeit der EBS-Verbrennungsanlage im Industriepark Höchst. Entwurf V3 20.03.2013. Auf Anfrage der Thermal Conversion Compound Industriepark Höchst GmbH. 71 S. Herne. unveröffentl.

- NECKERMANN, ACHTERHOLT (2012): Vegetationsaufnahmen in den FFH-Gebieten Schwanheimer Wald und Schwanheimer Düne. Auftraggeber: Thermal Compound Conversion Industriepark Höchst, Cölbe, 18. Juli 2012.
- Neuhäusl, R. (1976): Geobotanická mapa České Socialistické Republiky: mapa rekonstruované přirozené vegetace, Praha: Academia
- Oberdorfer, E. (1957): Süddeutsche Vegetationsgesellschaften. Pflanzensoziologie 10, Jena 564 S.
- OBERDORFER, E. (1977): Süddeutsche Pflanzengesellschaften I. Pflanzensoziologie 10. 2. Aufl., Gustav-Fischer-Verlag. Jena. 311 S.
- OBERDORFER, E. (1978): Süddeutsche Pflanzengesellschaften II. Pflanzensoziologie 10. 2. Aufl., Gustav-Fischer-Verlag. Jena. 355 S.
- OBERDORFER, E. (1992): Süddeutsche Vegetationsgesellschaften. Teil IV. Teile I-IV in 5 Bänden, Gustav-Fischer-Verlag. Jena / Stuttgart / New York.
- OBERDORFER, E. (1993): Süddeutsche Vegetationsgesellschaften. Teil II. Teile I-IV in 5 Bänden. 3. Aufl., Gustav-Fischer-Verlag. Jena / Stuttgart / New York.
- OBERDORFER, E. (1998): Süddeutsche Vegetationsgesellschaften. Teil I. Teile I-IV in 5 Bänden. 4. Aufl., Gustav-Fischer-Verlag. Jena / Stuttgart / New York.
- OBERDORFER, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. 8. stark überarb. und ergänzte Aufl., Ulmer Verlag. Stuttgart. 1051 S.
- Öko-Data (2013): Teilgutachten zur FFH-Verträglichkeit der Auswirkungen von eutrophierenden und versauernden Fremdstoffdepositionen der EBS-Verbrennungsanlage Höchst auf die Erhaltungsziele der geschützten FFH-Lebensraumtypen in den FFH-Gebieten „Kelsterbacher Wald“, „Schwanheimer Düne“ und „Schwanheimer Wald“. Auftraggeber: Infraseriv GmbH & Co. Höchst KG. 13.5.2013.126 S.
- Passarge, H. (1960): Waldgesellschaften NW-Mecklenburgs. Arch. Forstwesen (Berlin) 9:499-541.
- Passarge, H. (1964): Vegetationsgesellschaften des nordostdeutschen Flachlandes I. Pflanzensoziologie 13. Jena.
- Passarge, H., Hofmann, G. (1968): Vegetationsgesellschaften des nordostdeutschen Flachlandes. II. Pflanzensoziologie 16. Jena 324 p.
- Paul, M. (2000): Erhaltung forstlicher Genressourcen in extremen Immissionsschadgebieten. For. Snow Landsc. Res. 75, 1/2: 233–249 (2000)
- Petersen, A. (1981) Die Gräser als Kulturpflanzen und Unkräuter auf Wiese, Weide und Acker. Berlin: Akademie-Verlag
- Petersen, A. (1981): Die Gräser als Kulturpflanzen und Unkräuter auf Wiese, Weide und Acker. 5., bearb. Aufl., Akademie-Verlag, Berlin, 280 S.
- Petersen, B., Ellwanger, G., Biewald, G., Hauke, U., Ludwig, G., Pretscher, P., Schröder, E., Ssymank, A. (2003): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. Ökologie und Verbreitung von Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. Band 1: Pflanzen und Wirbellose. BfN Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 69, Band1. Bonn-Bad Godesberg.
- PGNU (2018): Wiederholung von Vegetationsaufnahmen in den FFH-Gebieten Schwanheimer Düne, Schwanheimer Wald und Kelsterbacher Wald. Im Auftrag der Infraseriv GmbH & Co. Höchst KG. 31. 12. 2018
- Pietsch, W., Schötz, A. (1999): Vegetationsentwicklung auf Kippprohböden der Offenlandschaft – Rolle für die Bio-indikation. In: Hüttl, R. (Hrsg): Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften des Lausitzer Braunkohlereviere. Verlag de Gruyter Berlin New York.

- Posch M, Reinds GJ 2009. A very simple dynamic soil acidification model for scenario analyses and target load calculations. *Environmental Modelling & Software* 24: 329–340
- POSCH, M., SLOOTWEG, J., HETTELINGH, J.-P. Eds. (2011): CCE Status Report 2011. Modelling and Mapping of Atmospherically-induced Ecosystem Impacts in Europe. Report No. 680359003. Bilthoven.
- POSCH, M., SLOOTWEG, J., HETTELINGH, J.-P. Eds. (2013): CCE Status Report 2012. Modelling and Mapping of Atmospherically-induced Ecosystem Impacts in Europe. Bilthoven.
- Pott, R. (1992): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands, Ulmer, Stuttgart, 427 p.
- Preising, E., Vahle, H.-C., Brandes, H., Hofmeister, H., Tüxen, J., Weber, H:E (1997): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens – Bestandsentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme: Rasen-, Fels- und Geröllgesellschaften. *Naturschutz und Landschaftspflege Niedersachsens*, Heft 20/5 (1-146), Hannover.
- Preising, E., Vahle, H.-C., Brandes, H., Hofmeister, H., Tüxen, J., Weber, H:E (1990a): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens – Bestandsentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme: Salzpflanzengesellschaften der Meeresküsten und des Binnenlandes. *Naturschutz und Landschaftspflege Niedersachsens*, Heft 20/7 (1-161), Hannover.
- Preising, E., Vahle, H.-C., Brandes, H., Hofmeister, H., Tüxen, J., Weber, H:E (1990b): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens – Bestandsentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme: Wasser- und Sumpfpflanzengesellschaften des Süßwassers. *Naturschutz und Landschaftspflege Niedersachsens*, Heft 20/8 (1-161), Hannover.
- Quade, J. (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Hydro Agri Dülmen GmbH (Hrsg.), 12. überarb., erg. und erw. Aufl. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag. 618 S.
- Rasmus, J., C. Herden, I. Jensen, H. Reck & K. Schöps (2003): Methodische Anforderungen an Wirkungsprognosen in der Eingriffsregelung. Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 898 82 024 des Bundesamtes für Naturschutz. *Angewandte Landschaftsökologie* 51: 225pp. + Anhang 71pp.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT (2010): Maßnahmenplan (Bewirtschaftungsplan) für das FFH - Gebiet 5917-305 "Schwanheimer Wald", Darmstadt.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT (2011): Maßnahmenplan (Bewirtschaftungsplan) für das FFH - Gebiet 5917-301 „Schwanheimer Düne“, Darmstadt.
- Regierungspräsidium Darmstadt (2016) : Verordnung über die Natura 2000-Gebiete im Regierungsbezirk Darmstadt vom 20. Oktober 2016.  
<http://www.rpda.de/01%20Natura%202000-Verordnung/Natura2000-VO-RPDA/Nav/gebietsliste.html>
- Renger, M., König, R., Swartijes, S., Wessolek, G., Fahrenhorst, C., Kaschian, B. (1990): Modelle zur Ermittlung und Bewertung von Wasserhaushalt, Stoffdynamik und Schadstoffbelastbarkeit in Abhängigkeit von Klima, Bodeneigenschaften und Nutzung. Endbericht zum BMFT-Projekt 0374343, Institut für Ökologie, TU Berlin, Berlin.
- Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (FFH-Richtlinie), Abl. EG L 206/7 vom 22.07.1992, geändert durch Richtlinie 97/62/EG des Rates vom 27.10.1997, Abl. EG L 305/42.
- Roberts, D. W. (1986): Ordination on the basis of fuzzy set theory, *Vegetatio* 66: 123-131.
- Rochow, M. von (1951): Die Pflanzengesellschaften des Kaiserstuhls. *Pflanzensoziol.* 8, 140 S. Jena.
- Rost-Siebert, K. (1985): Untersuchungen zur H<sup>+</sup>- und Al-Ionentoxizität an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies* Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Lösungskultur. *Berichte des Forschungszentrum Waldökosysteme d. Univ. Göttingen*, 12

- Rowinski, V. (1993): Ökologie und Erhaltung von Kesselmooren an Berliner und Brandenburgischen Beispielen. In: Landesumweltamt Brandenburg (ed.) Niedermoore. Potsdam: Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft Potsdam, Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg SH
- Ruhr-Stickstoff-Aktiengesellschaft (Hrsg.) (1988): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. 11., überarb., erg. u. erw. Aufl.. Bochum, 587 S.
- RUNGE, F. (1994): Die Pflanzengesellschaften Mitteleuropas. 12./13. verb. Aufl., Aschendorff-Verlag. Münster. 312 S.
- Sauerbrey, R., Schmidt, W. (1993): Bodenentwicklung auf entwässerten und landwirtschaftlich genutzten Niedermooren. In: Landesumweltamt Brandenburg (ed.) Niedermoore. Potsdam: Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft Potsdam, Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg SH
- Scamoni, A. (1960): Waldgesellschaften und Waldstandorte - dargestellt am Gebiet des Diluvi
- Schachtschabel, P., Auerswald, K., Brümmer, G., Hartke, K. H., Schwertmann, U. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde, Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart.
- Scheffer, F., Ulrich, B. (1960): Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, III. Teil, Humus und Humusdüngung, Band I, 2. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schlutow, A. (2001): Some experiences in accessing the biomass uptake in Germany in order to calculate Critical Loads. In: Nat. Inst. of Ecology of Moldova (ed.): Critical Loads Calculation for Air Pollutants and Mapping in East and South-East Europe. Proceedings of the Workshop 22.-24.3.2001 in Chisinau, Moldova, p. 58-81
- Schlutow, A. (2003): Entwicklungspotenziale für eine naturschutzfachlich bedeutsame Grünlandvegetation nach Auflassung von ackerbaulicher Intensivnutzung. Arch. f. Naturschutz und Landschaftsforschung. Band 42, Heft 3, Dez. 2003.
- Schlutow, A., Becker, R., Hübener, P. (2005): KliStWa - Einfluss regionalisierter Klimaprognosen und Stoffhaushaltssimulationen (dynamische Modellierung) auf den Stoffhaushalt repräsentativer Standorts- und Waldbestandstypen im Freistaat Sachsen, [http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/documents/Abschlussbericht\\_KliStWa\\_Teil\\_1.pdf](http://www.umwelt.sachsen.de/lfug/documents/Abschlussbericht_KliStWa_Teil_1.pdf)
- Schlutow, A., Bouwer, Y., Nagel, H.-D. (2018): Bereitstellung der Critical Load Daten für den Call for Data 2015-2017 des Coordination Centre for Effects im Rahmen der Berichtspflichtigen Deutschlands für die Konvention über weitreichende grenzüberschreitende Luftverunreinigungen (CLRTAP). Im Auftrag des UBA, Abschlussbericht Projekt-Nr. UBA/43848. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/critical-load-daten-fuer-die-berichterstattung-2015>
- Schlutow, A., Dirnböck, T., Pecka, T., Scheuschner, T. (2015): Use of an empirical model approach for modelling trends of ecological sustainability (Chapter 14 ). In: De Vries, W., Hettelingh, J.-P., Posch, M. (eds). Critical Loads and Dynamic Risk Assessments: Nitrogen, Acidity and Metals in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. Springer, 662 S.
- Schlutow, A., Hübener, P. (2004): The BERN Model: Bioindication for Ecosystem Regeneration towards Natural conditions. UBA-Texte 22/04. Umweltbundesamt Berlin, 50 S.
- Schlutow, A., Hübener, P. (2005): Ermittlung von aktuellen Regenerierungspotenzialen naturnaher Ökosysteme mittels Bioindikation. Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, 44(3): 27-78, ISSN: 0003-9306
- Schlutow, A., Kraft, P. (2006): Bioindication of ecosystems regeneration ability thresholds – a model for analysis current damage degree and recovery of harmonious balanced natural conditions. UNESCO Encyclopedia of living systems. [www.EOLS/E4-20-01-08](http://www.EOLS/E4-20-01-08)
- Schmidt, P. A., Hempel, W., Denner, M., Döring, N., Gnüchtel, B., Walter, B., Wendel, D. (2002): Potentielle natürliche Vegetation Sachsens mit Karte 1:200.000, Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, 230 p.

- Schober, R. (1967): Ertragstabellen wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M.
- Schober, R. (1975): Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedenen Durchforstungen. Frankfurt a. M.: Verlag Sauerländer
- Schober, R. (1987): Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedenen Durchforstungen. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M.
- Schober, R., (1972): Die Rotbuche. SchrReihe forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Mitt. Nieders. Ver-Anst., Bd. 43/44, 333 S.
- Schubert, R. (1960): Die zwergstrauchreichen azidiphilen Pflanzengesellschaften Mitteldeutschlands, VEB Gustav Fischer, Jena, 235 p.
- Schubert, R. (1991): Lehrbuch der Ökologie, Verlag Fischer, Jena, 657 p.
- Schubert, R., Klotz, W., Hilbig, S. (1995): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Mittel- und Nordost-deutschlands. Fischer Verlag, Jena, 403 S.
- Schütt, P., Schuck, H.-J., Stimm, B. (2002): Lexikon der Baum- und Straucharten. Nikol, Hamburg 2002. ISBN 3-933203-53-8, S. 285.
- Schwappach, H. (1912): Ertrags-Schätztafeln für Forstbestände. Archiv der Forstwissenschaft Eberswalde, unveröffentlicht
- Shugart, H. H. (1984): A Theory of Forest Dynamics, Springer, New York.
- Shugart, H. H. (1998): Terrestrial ecosystems in changing environments, Cambridge studies in ecology, Cambridge, S. 75.
- Slobodda, S. (1982): Pflanzengesellschaften als Kriterium zur ökologischen Kennzeichnung des Standortsmosaiks. Archiv Naturschutz und Landschaftspflege. 22. 2. S. 79-101.
- Slobodda, S. (1987): Pflanzengesellschaften und ihre Umwelt. 2. Aufl., Urania-Verlag. Leipzig-Jena-Berlin.
- Ssymank, A., Hauke, U., Rückriem, C., Schröder, E., Messer, D. 1998: Das europäische Schutzgebietssystem NA-TURA 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna- Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) und der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG). Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 53, Bonn-Bad Godesberg.
- Stanford, G., Frere, M.H., Schwaninger D.H. (1973): Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. In: Soil science 115(4):321-323.
- Starke, G., Starke, W. (1977): Auswirkungen der Ganzbaumnutzung auf den Nährelementkreislauf von Fichten-, Kiefern- und Buchenbeständen. Diplomarbeit an der TU Dresden, Sek
- Stein-Bachinger, K., Bachinger, J., Schmitt, L. (2004): Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.). Darmstadt, 136 S.
- Stollmann, F. (1999): Rechtsfragen der FFH-Verträglichkeitsprüfung. Natur und Landschaft 74 (11).
- Stuhrmann, M. (2000): Verbleib eingetragenen Stickstoffs in Waldböden entlang eines klimatischen Transektes durch Europa. In: Bayreuther Forum Ökologie, Band 79, 2000. 154 S.
- Succow, M. (1988): Landschaftsökologische Moorkunde. Gustav-Fischer-Verlag, Jena, S. 126.
- Succow, M., Joosten, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, 622 S.
- Sverdrup H, Warfvinge P (1993): The effect of soil acidification on the growth of trees, grass and herbs as expressed by the (Ca+Mg+K)/Al ratio. Reports in Ecology and Environmental Engineering, 1993:2.
- Sverdrup, H. (1990): The kinetics base of cation release due to chemical weathering. Lund University Press, Lund, Sweden.

- Sverdrup, H., Warfvinge, P. (1988): Weathering of primary minerals in the natural soil environment in relation to a chemical weathering model. In: *Water, Air Soil Pollut.* 38, pp. 387-408.
- Tietema, A., Verstraten, J. M. (1991): Nitrogen cycling in an acid forest ecosystem in the Netherlands under increased atmospheric input. The nitrogen budget and the effect of nitrogen transformations on the proton budget. *Biogeochemistry* 15:21-46.
- Tischew, S. (2011): Management von Offenland-Lebensräumen an pflegeproblematischen Steilhängen durch Ziegenstandweiden. Beschreibung des laufenden Forschungsprojekts
- Traeger, D. H. (1993): Einführung in die Fuzzy-Logik, Teubner, Stuttgart.
- Türk, T. (1992): Die Wasser- und Stoffdynamik in zwei unterschiedlich geschädigten Fichtenstandorten. *Jagdzeitung*, 95: 9-17.
- Tüxen, R. (1937): Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. Jahresbericht Naturhistorische Gesellschaft Hannover 31/87: 1-170, Hannover
- TÜXEN, R. (1955): "Das System der nordwestdeutschen Pflanzengesellschaften". *Mitt. flor.-soz. Arbeitsgem. Niedersachsen (Hannover)* 5: 155–176.
- Tüxen, R. (1957): Entwurf einer Definition der Pflanzengesellschaft (Lebensgemeinschaft). *Mitteilungen der Floris-tisch-Soziologischen Arbeitsgemeinschaft (6/7)*:151.
- Tüxen, R. (1958): Pflanzengesellschaften oligotropher Heidetümpel Nordwestdeutschlands. *Veröff. D. Geobotanischen Instituts Rübel*, 33: 207-231, Zürich
- UBA – Umweltbundesamt (2018): Hintergrundbelastungsdaten - Ergebnisse und Daten des PINETI3-Projekts. Erläuterungen des Umweltbundesamtes. Online im Internet: <http://gis.uba.de/website/depo1>
- UBA (Umweltbundesamt) (1994): Umweltqualitätsziele, Umweltqualitätskriterien und – standards – Eine Bestandsaufnahme (Texte 64/94). Berlin.
- Ulrich, B. (1981): Theoretische Betrachtung des Ionenkreislaufs in Waldökosystemen. *Z Pflanzenernährung Bodenkunde* 144
- Ulrich, B. (1985): Natürliche und anthropogene Komponenten der Bodenversauerung. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 43/1, 159-187 S.
- Ulrich, B. (1987): Stabilität, Elastizität und Resilienz von Waldökosystemen unter dem Einfluss saurer Deposition, *Forstarchiv* 58, S. 232-239.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (1996): Manual on methodologies and criteria for mapping Critical Levels & Loads and geographical areas where they are exceeded. UBA-Texte 71/96. Dessau-Rosslau.
- UNECE (1993): Calculation and Mapping of Critical Loads for Europe. Coordination Centre for Effects, Status Report 1993. Bilthoven: National Institute of Public Health and Environmental Protection
- UNECE (1999): Protokoll der CRLTAP zur Verminderung von Versauerung, Eutrophierung und des bodennahen Ozons, Göteborg.
- Van Dam, D. (1990): Atmospheric deposition and nutrient cycling in chalk grassland. PhD Thesis, University of Utrecht, Utrecht, The Netherlands, 119 pp.
- VAN DOBBEN, H. F., VAN HINSBERG, A. (2008): Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en Natura 2000-gebieden. = Alterra-rapport 1654. Online im Internet unter: URL: [http://www.grebbeliniedag.nl/prvutr/internet/j20\\_10.nsf/files/Overzicht\\_van\\_kritische\\_depositiewaarden\\_voor\\_stikstof\\_toegepast\\_op\\_habitattypen\\_en\\_Natura\\_2000-gebieden.pdf](http://www.grebbeliniedag.nl/prvutr/internet/j20_10.nsf/files/Overzicht_van_kritische_depositiewaarden_voor_stikstof_toegepast_op_habitattypen_en_Natura_2000-gebieden.pdf/$FILE/Overzicht_van_kritische_depositiewaarden_voor_stikstof_toegepast_op_habitattypen_en_Natura_2000-gebieden.pdf) [Stand: Oktober 2011], Wageningen.

- Van Donselaar, J. (1961): On the vegetation of former river beds in the Netherlands. *Wentia* 5, 1-85.
- VERORDNUNG (EG) NR. 407/2009 (2009): Verordnung (EG) Nr. 407/2009 der Kommission vom 14. Mai 2009 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 338/97 des Rates über den Schutz von Exemplaren wild lebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels.
- VO ÜBER DIE NATURA2000-GEBIETE IN HESSEN (2013): Verordnung über die Natura2000-Gebiete in Hessen. Entwurf. Online verfügbar unter: [http://141.90.2.24/static/themen/naturschutz/Nachanhoerung-N2000VO/allgemeiner\\_VO\\_Text/verordnungstext.html](http://141.90.2.24/static/themen/naturschutz/Nachanhoerung-N2000VO/allgemeiner_VO_Text/verordnungstext.html) [Stand 22.04.2013]. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUJELV).
- Wagner, S. (2004): Klimawandel - einige Überlegungen zu waldbaulichen Strategien. *Forst und Holz*, 59, 8, S. 394-398.
- WAGNER, W. (2004): Grunddatenerhebung für Monitoring und Management im FFH-Gebiet Nr 5917-305 Schwanheimer Wald.“ Gutachten i. A. des Regierungspräsidium Darmstadt. Darmstadt. unveröffentl.
- Wallman, P., Belyazid, S., Svenson, M.G.E., Sverdrup, H. (2004): DECOMP – a semi-mechanistic model of litter decomposition. Doctoral Thesis. Lund Institut of Technology, Lund University, Sweden, Part IV (24 p)
- Wallmann, K., Aloisi, G., Haeckel, M., Obzhairov, A., Pavlova, G., Tishchenko, P. (2006): Kinetics of organic matter degradation, microbial methane generation, and gas hydrate formation in anoxic marine sediments. In: *Ge-ochimica et Cosmochimica Acta* 70(15), 3905-3927.
- Walse, C., Berg, B., Sverdrup, H. (1998): Review and synthesis on experimental data on organic matter decomposition with respect to the effect of temperature, moisture and acidity. In: *Environmental Review* 6, pp. 25-40.
- Warfvinge, P., Sverdrup, H. (1992): Calculating critical loads of acid deposition with PROFILE – A steady state soil chemistry model. In: *Water, Air and Soil Pollution* 63, pp. 119-143.
- Weber, G., Rehfuess, K. E., Kreutzer, K. (1993): Über den Einfluß naturnaher Waldwirtschaft auf den chemischen Bodenzustand. In Block J (Hrsg.) Stickstoffausträge mit dem Sickerwasser aus Waldökosystemen: Wirkungskomplex Stickstoff und Wald. IMA-Querschnittseminar, UBA Berlin
- Wegener, O. (Agrofor Consulting) (2009): Prüfbericht AC92202 zum Projekt BAB44 Kassel-Herleshausen, VKe 32/33 C.0522.04746-00-P3-L1. Bodenanalysen zur Stickstoffdeposition. Unveröffentlicht Wettenberg, 10.Juni 2009
- Weiger, H. (1986): Nitratausträge in Kiefernbeständen des Nürnberger Reichswalds – Ergebnisse von Feldversuchen auf verschiedenen Böden. In Block J (Hrsg.) Stickstoffausträge mit dem Sickerwasser aus Waldökosystemen: Wirkungskomplex Stickstoff und Wald. IMA-Querschnittseminar, UBA Berlin
- Wendland, F., Kunkel, R. (1998): Der Landschaftswasserhaushalt im Flusseinzugsgebiet der Elbe. 110 S., Schriften des Forschungszentrums Jülich: Reihe Umwelt 12.
- Westhoff, V., Dijk, J. W., Passchier, H. (1946): Overzicht der Plantengemeenschappen in Nederland. 118 S., Amsterdam.
- Wett, N. (2003): Aspekte des Prozesses der N-Freisetzung aus Humusvorratsabbau. Diss. Uni Kassel.  
[http://kobra.bibliothek.unikassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34648/1/dis1376\\_06.pdf](http://kobra.bibliothek.unikassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34648/1/dis1376_06.pdf)
- Weymar, H. (1972): Buch der Gräser und Binsengewächse. Radebeul: Verlag Neumann
- Wiedemann, F. (1936): Ertragstabellen der Fichte. In: Schober (1975) Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedenen Durchforstungen. Frankfurt a. M.: Verlag Sauerländer

- Wiedemann, F. (1943): Ertragstabellen der Kiefer. In: Schober (1975) Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedenen Durchforstungen. Frankfurt a. M.: Verlag Sauerländer
- Wiedey, G. A., Gerriets, M. (1986): Deposition, Austrag und Verbleib von Luftverunreinigungen: Ergebnisse der Messungen im Hils. In: Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Universität Göttingen, Rh. B, Bd 2
- Wiedey, G. A., Raben, G. H. (1989): Datendokumentation zur Waldschadensforschung im Hils. In: Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/ Waldsterben, Rh. B, Bd 12
- Willner, W. (2002): Syntaxonomische Revision der südmitteleuropäischen Buchenwälder, in: Phytocoenologia 32 (3), Berlin-Stuttgart, pp. 337-453.
- Wimmenauer, K. (1919): Wachstum und Ertrag der Esche. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 95: 9-17.
- Wöhler, I. (1996): Standortabhängige und statusbeschreibende Muster in Streu und Humus von Waldökosystemen, Forschungsberichte der Universität Göttingen.
- Wolff, B. (2003): Das Klima in den forstlichen Wuchsgebieten und Wuchsbezirken Deutschlands, in: Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Verlag Wiedebusch, Hamburg
- Wolff, B., Riek, W. (1997): Deutscher Waldbodenbericht 1996 – Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987 – 1993 (BZE). Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Eberswalde.
- Wolfram, C. (1996): Die Vegetation des Bottsandes. Mitteilungen der AG Geobotanik in Schlesw-Holst. und Hamburg, Kiel, Heft 51, 111 S.
- Zadeh, L. A. (1978): Fuzzy Sets as a basis for a theory of possibility, Fuzzy sets and fuzzy systems
- Zogg, G. P., Zak, D. R., Pregitzer, K. S., Burton, A. J. (2000): Microbial Immobilization and the Retention of Anthropogenic Nitrate in a Northern Hardwood Forest, Ecology, 81(7): 1858–1866.