

Thünen à la carte

Wirkungsforschung zur Luftreinhaltung

Jürgen Bender,
Walter Seidling,
Andreas Schmitz
November 2017



Wirkungsforschung zur Luftreinhaltung

Jürgen Bender, Walter Seidling, Andreas Schmitz

Wie wirken Schwefel, Stickstoff und Schwermetalle auf unsere Waldökosysteme? Wie wirkt Ozon auf landwirtschaftliche Nutzpflanzen und die natürliche Vegetation? Das Thünen-Institut trägt im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention zu deren Untersuchung bei.

Seit 1979 besteht die Genfer Luftreinhaltekonvention (CLRTAP). Von 51 Staaten ratifiziert, ist sie das erste internationale, rechtlich bindende Instrument zur Bekämpfung der Luftverschmutzung. Für den EU-Raum wird sie seit 2001 durch die NEC-Richtlinie ergänzt. Ziele des Abkommens sind, die Luftschadstoffemissionen im Rahmen des Europäischen Monitoring- und Bewertungsprogramms EMEP zu erfassen und durch die Arbeitsgruppe Wirkungen (WGE) deren Effekte auf Mensch und Umwelt zu erforschen. Die WGE ist in acht Arbeitsprogramme unterteilt, sechs davon sind als internationale Kooperationsprogramme (ICPs) organisiert (Abb. 1). An zwei der ICPs sind Thünen-Institute unmittelbar beteiligt:

- das Thünen-Institut für Biodiversität ist nationales Programmzentrum und Koordinierungsstelle für die deutschen Aktivi-

täten im ICP Vegetation (National Focal Centre) und betreibt aktiv Forschung vor allem zu Fragen der Schadwirkung von Ozon auf landwirtschaftliche Nutzpflanzen und die halb-natürliche Vegetation,

- das Thünen-Institut für Waldökosysteme beherbergt das Programmkoordinationszentrum (PCC) von ICP Forests. Hier werden alle transkontinentalen Monitoring-Aktivitäten in Waldökosystemen koordiniert und die daraus entstehenden Daten strukturiert gesammelt, auf Qualität kontrolliert und aufbereitet.

ICP VEGETATION

Seit 1987 besteht das internationale Kooperationsprogramm ICP Vegetation zur Untersuchung und Bewertung des Einflusses von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. ICP Vegetation betreibt kein systematisch aufgebautes Netzwerk von Monitoring-Stationen, sondern erarbeitet seine Ergebnisse durch Forschungsaktivitäten (z.B. Experimente, Beobachtungen, Biomonitoring-Netzwerke) einzelner Arbeitsgruppen in den beteiligten Ländern, die sich mit Wirkungsfragen von Luftverunreinigungen befassen. Derzeit beteiligen sich ca. 80 Arbeitsgruppen aus 50 Ländern an dem Programm. Eine der wichtigsten Aufgaben von ICP Vegetation besteht in der flächenhaften Bewertung der Auswirkungen von Ozonbelastungen auf die Vegetation in Europa und deren zeitliche Entwicklung. Die Aktivitäten zur Abschätzung von Ozonschäden an der Vegetation in Europa umfassen:

- fortlaufende Beobachtungen von Ozonschäden im Freiland, Freilandstudien sowie Expositionsexperimente mit simulierten Ozonbelastungen;

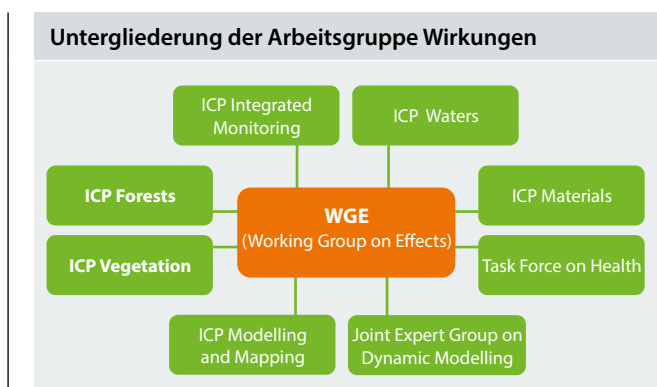
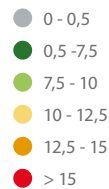
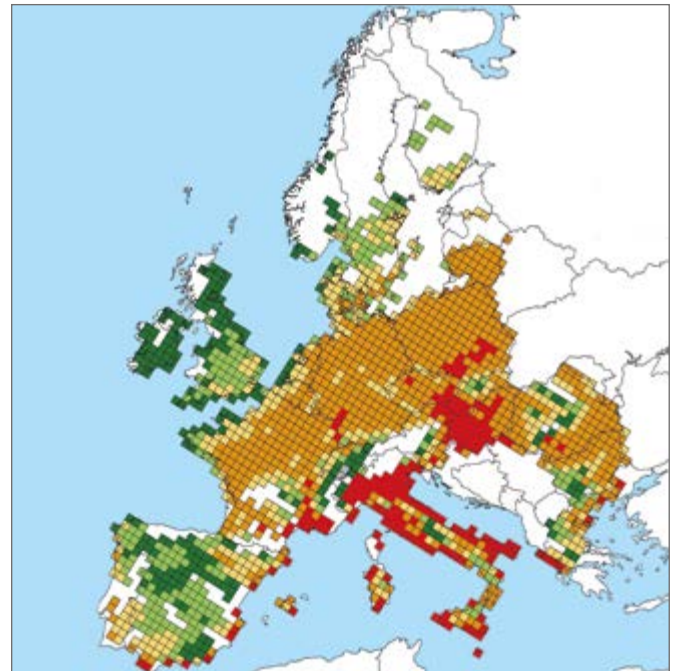


Abb. 1: An ICP Forests und ICP Vegetation ist das Thünen-Institut direkt beteiligt.

Karte 1:
Ozonbedingte potenzielle Ertragsverluste von Weizen in Europa im Jahr 2005 (in %)



Quelle:
ICP Vegetation



- Ermittlungen von Dosis-Wirkungs-Beziehungen und Ableitung von kritischen Belastungswerten (Critical Levels) für Ozon zum Schutz der Vegetation;
- Entwicklung von Modellen zur Quantifizierung von Ozonschäden, flächenhafte Risikoabschätzungen und Bereitstellung von europaweiten Risikokarten als Grundlage für die Gestaltung europäischer Protokolle und Rechtsvorschriften zur Luftreinhaltung (z. B. Göteborg-Protokoll, EU-NEC-Richtlinie).

ICP FORESTS

ICP Forests, das internationale Kooperationsprogramm zur Bewertung und zum Monitoring von Luftschadstoffen auf Wälder, wurde 1985 gegründet. Damals befürchtete man ein Waldsterben. Die hohen Schwefelbelastungen vieler Wälder und die damit einhergehende Versauerung der Böden waren offensichtlich; bei zeitweise sehr hohen Schwefeldioxidkonzentrationen in der Luft ließen sich in manchen Gebieten unmittelbare Schäden an Nadeln und Blättern feststellen. Deshalb wurden Maßnahmen zur Luftreinhaltung vehement vorangetrieben, wodurch Schwefeleinträge um ca. 90% gegenüber den damaligen Werten reduziert werden konnten.

Heute stehen vor allem überhöhte Einträge reaktiver Stickstoffverbindungen im Fokus. Auch gilt es, Schwermetall- und Ozonbelastungen und deren Wirkung auf Wälder besser zu erfassen. Das Monitoring erfolgt:

- auf einem europaweiten repräsentativen 16x16km-Netz mit aktuell ca. 6.000 Flächen. Mit diesem extensiven Level-I-Monitoring werden jährlich Baumkronen beurteilt und ca. alle 15 Jahre Daten zum Boden und zu den Blattinhaltsstoffen erhoben.

- an ca. 500 ausgewählten Flächen wichtiger Waldgesellschaften. Mit diesem intensiven Level-II-Monitoring werden kontinuierlich ökosystemar relevante Fluss- und Zustandsparameter zusätzlich erfasst.

AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE: RISIKEN FÜR DIE VEGETATION DURCH BODENNAHES OZON

Ozon als Hauptbestandteil des photochemischen „Sommermogs“ ist neben seinem Einfluss auf die menschliche Gesundheit gegenwärtig der wichtigste phytotoxische Luftschadstoff. ICP Vegetation liefert fortlaufend Belege, dass die derzeit herrschende Luftbelastung durch Ozon in großen Teilen Europas zu sichtbaren Blattschäden an empfindlichen Arten von Kultur- und Wildpflanzen führt (Mills et al. 2011). Sichtbare Blattschäden (Abb.2) treten häufig



Abb 2: Sichtbare Blattschäden an der Kartoffel durch Ozonbelastung.

Karte 2:
Prognostizierte potenzielle Ertragsverluste von Weizen in Europa im Jahr 2030 (in %)

- 0 - 0,5
- 0,5 - 7,5
- 7,5 - 10
- 10 - 12,5
- 12,5 - 15
- > 15

Quelle:
ICP Vegetation



nach Ozonepisoden mit hohen Konzentrationen auf und können bei Obst, Gemüse oder Zierpflanzen die äußere Qualität des Materials derart beeinflussen, dass eine Verwendung nicht mehr möglich ist bzw. Wertverluste entstehen (Mills & Harmens 2011).

Atmosphärische Bedingungen, die mit eher mittleren Ozonkonzentrationen bei gleichzeitig ausreichender Bodenfeuchte einhergehen, begünstigen den Ozonfluss in die Pflanzen über ihre Spaltöffnungen derart, dass empfindliche Pflanzen mit Ertragsverlusten reagieren (Weigel & Bender 2012). Besonders ertragsempfindlich sind die Kulturpflanzenarten Weizen und Sojabohne, während z. B. Gerste weniger ozonempfindlich ist (Abb. 3).

ICP Vegetation und ICP Forests nutzen Critical Levels, um die Wirkung des Ozons auf Kulturpflanzen, Wälder und die (halb-)natürliche

Vegetation zu bewerten. Ihre Ableitung basiert zum einen auf langjähriger Forschung zu den Transportprozessen des Ozons in die Pflanzen und deren physiologische Reaktionen und zum anderen auf Experimenten, in denen Pflanzen unterschiedlich hohen Ozonbelastungen ausgesetzt werden. Critical Levels werden auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse fortlaufend weiterentwickelt. In den letzten Jahren wurde eine Bewertungsmethode entwickelt, die die tatsächlich wirkungsrelevante, also für die Pflanzen toxische Dosis berücksichtigt. Bei diesen sogenannten flussbasierten Critical Levels wird die aufgenommene Ozonmenge unter Berücksichtigung der jeweiligen Witterung berechnet bzw. modelliert (LRTAP Convention 2017).

Mithilfe von flussbasierten Critical Levels hat ICP Vegetation in jüngster Zeit europaweite Modellabschätzungen zu ozonbedingten Ertragsverlusten und den damit verbundenen ökonomischen Schäden durchgeführt. Danach liegen die Ertragsverluste bei Weizen durch gegenwärtige (Jahr 2005) Ozonbelastungen in der Größenordnung von 10,7% (Karte 1). Selbst bei Annahme der Umsetzung des Göteborg-Protokolls, das Maßnahmen zur Reduzierung der Ozonbelastung vorsieht, würden die Ertragsverluste im Jahr 2030 noch 8,2% betragen (Karte 2).

KRITISCHE STICKSTOFF-EINTRÄGE IN WALDÖKOSYSTEME

Während im extensiven Monitoring von ICP Forests die Bereiche Baumkronen, Boden und Blattinhaltsstoffe abgedeckt werden, wird im intensiven Monitoring ein ökosystemarerer Ansatz verfolgt. Hier werden in 13 Bereichen wichtige Zustands- und Flussparameter erhoben. Auf der Wirkungsseite sind das zusätzlich Größen z.B. zur Bodenlösung, zu Stammzuwächsen, zu ozonbedingten Schä-

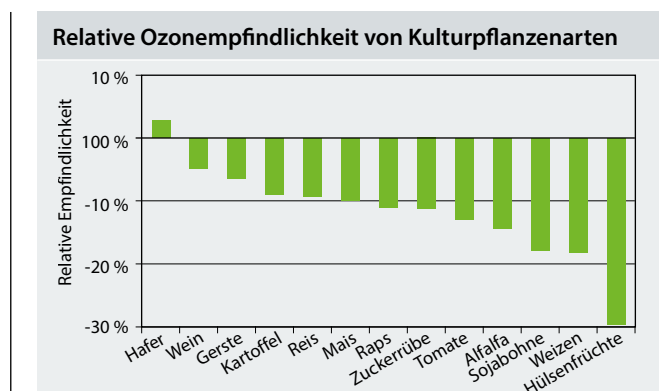


Abb. 3: Hülsenfrüchte (Bohnen und Erbsen) sind am empfindlichsten.

Karte 3:
Deposition von
anorganischem
Stickstoff innerhalb der
Level-II-Waldbestände
2015 (kg pro Hektar)

- ≤ 5
- 5,1 - 10
- 10,1 - 15
- 15,1 - 20
- > 20

Quelle:
ICP Forests



den und zur Zusammensetzung der Bodenvegetation. Ursachen-
seitig sind dies z.B. meteorologische Kenndaten und Messungen
zur nassen Deposition reaktiver Stickstoffverbindungen sowie wei-
terer Nähr- und Schadstoffe. Alle Methoden sind europaweit abge-
stimmt und in einem Manual dargelegt (UNECE ICP Forests 2016).

War Stickstoff ursprünglich in vielen Waldökosystemen ein Mini-
mumfaktor, ist er heute in vielen Teilen Europas ausreichend, zum
Teil sogar im Überfluss, verfügbar. Deshalb wird aus der Vielzahl
von Auswertungen (Michel & Seidling 2016) beispielhaft hier die
Stickstoffdeposition beleuchtet (Karte 3). Die absoluten Eintrags-
raten mögen im Vergleich zu den ausgebrachten Düngermengen
auf landwirtschaftlichen Nutzflächen gering erscheinen, aber
ohne jährliche Ernten wird Stickstoff in Waldökosystemen über
Jahrzehnte akkumuliert. Und wenn er mit dem Sickerwasser aus-
gewaschen wird, trägt er zur Versauerung der Waldböden bei.
Neben erhöhten Stickstoffgehalten in Blättern und Nadeln und
damit verschobenen Nährstoffgleichgewichten, unterliegen Wäl-
der als komplexe Ökosysteme Rückkopplungen, z. B. kann sich
das Resistenzverhalten von Waldbäumen gegenüber Schadorga-
nismen verändern.

Da Stickstoff als essenzieller Nährstoff sehr schnell durch Bäume,
andere Pflanzen, aber auch Mikroorganismen verstoffwechselt
wird, ist dessen Menge innerhalb der Waldökosysteme nicht
einfach zu messen. Das Erfassen der Stickstoffeinträge ist umso
wichtiger für die Modellierung der Stoffflüsse und -vorräte. In
diesem Zusammenhang hat sich die Berechnung von kritischen
Eintragsraten (Critical Loads, Hettelingh et al. 2008) für eutrophie-
renden Stickstoff als politisch relevantes Instrument erwiesen, da
sie eine langfristige Risikoabschätzung ermöglicht.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

Hettelingh J-P, Slootweg J, Posch M (2008) Modelling and map-
ping long-term risks due to reactive nitrogen effects: An over-
view of LRTAP convention activities. *Environ. Pollut.* 154: 482-487.

LRTAP Convention (2017) Mapping Manual 2017. Manual on me-
thodologies and criteria for modelling and mapping critical loads
& levels and air pollution effects, risk and trends. Chapter III. Map-
ping critical levels for vegetation.

Michel AK, Seidling W (Hrsg.) (2016) Forest Condition in Europe,
2016 Technical Report of ICP Forests. BFW-Dokumentation (Wien)
23/2016, 206 p.

Mills G, Harmens H (Hrsg.) (2011) Ozone pollution: A hidden threat
to food security. ICP Vegetation Programme Coordination Centre,
CEH Bangor, UK. ISBN: 978-1-906698-27-0.

Mills G, Hayes F, Simpson D, Emberson L, Norris D, Harmens H, Büker
P (2011) Evidence of widespread effects of O₃ on crops and (semi-)
natural vegetation in Europe (1990-2006) in relation to AOT40- and
flux-based risk maps. *Global Change Biology* 17: 592-613.

UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (Hrsg.)
(2016) Manual on methods and criteria for harmonized sampling,
assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution
on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde.

Weigel HJ, Bender J (2012) Bodennahes Ozon – ein Problem für Kul-
turpflanzen und Ernährungssicherheit? *Gesunde Pflanzen* 64: 79-84.

Zitationsvorschlag – *Suggested citation*:
Bender J, Seidling W, Schmitz A (2017)
Wirkungsforschung zur Luftreinhaltung. Braunschweig: Johann Heinrich
von Thünen-Institut, 6 p, Thünen à la
carte 6, DOI:10.3220/ CA1512979806000



THÜNEN

Thünen à la carte 6

November 2017

Herausgeber/Redaktionsanschrift

Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenealacarte@thuenen.de
www.thuenen.de

ISSN 2363-8052
DOI:10.3220/ CA1512979806000

Fotos: Thünen-Institut