

ÖKOSYSTEME UND DEREN ANTHROPOGENE BELASTUNG

AGRARÖKOSYSTEME II

SeBBU08201
SS 2025



Inhalte

- **Pestizideinsatz in Agrarökosystemen**

- Begriffsdefinitionen
- Geschichtliches zu Pestiziden
- Pestizideinsatz in der Landwirtschaft – einige Daten
 - Herbizide
 - Insektizide
 - Fungizide
- Wirkungen von Pestiziden in Agrarökosystemen

- **Indikatoren zur Messung von anthropogenen Belastungen in Agrarökosystemen**

- Indikator Hemerobie
- Indikator Nutzungsintensität – HANPP
- Indikator Biodiversität und Resilienz

Pestizide

Pestizide sind Gifte zur Bekämpfung von unerwünschten Organismen („-zide“ von lat. caedere = töten, vernichten)

- Insektizide (Insektenvertilgungsmittel)
- Akarizide (Milbenvernichtungsmittel)
- Herbizide (Unkrautvernichtungsmittel)
- Fungizide (Mittel gegen Pilzerkrankungen)
- Molluskizide (Schneckengifte)
- Rodentizide (Gifte gegen Nagetiere)

(Demgegenüber: Biozide = Chemikalien, die im nicht-landwirtschaftlichen Bereich zur Desinfektion, Haltbarmachung oder Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden, z.B. Holzschutz, Trinkwasseraufbereitung)

(vgl. EU-Richtlinie 2009/128/EG – Pflanzenschutz-Rahmenrichtlinie; Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 – Pflanzenschutzmittelverordnung)

Weitere Einsatzgebiete von Pestiziden bzw. Bioziden

- Freispritzen der Gleiskörper bei der Bahn
- Wildvergrämung, Abwehr von Wildverbiss und Vogelfraß in der Forstwirtschaft
- Aquakulturen (Lachs, Forelle, Dorade, Wolfsbarsch); zur Dezimierung von unerwünschten Garnelen in Krebszuchten.
- Garnelenzucht: gegen Fische, Krebse, Schnecken, Pilze; ebenso Antibiotika
- Vernichtung von Moskitos, um den Ausbruch von übertragbaren Krankheiten zu verhindern
- Museen (gegen Insektenschädlinge und Holzpilze: DDT, Lindan, PCP – Pentachlorphenol; heute zumeist verboten)
- Flughäfen (Malaria-Prophylaxe)
- Freiflächenpflege der Gemeinden
- Privatgärten
- Beizung von Saatgut

Sattelberger, R. (2001). *Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Biozid-Produkten im nicht-land-und forstwirtschaftlichen Bereich*. Umweltbundesamt.

Wirkstoffe und deren Wirkungsweisen

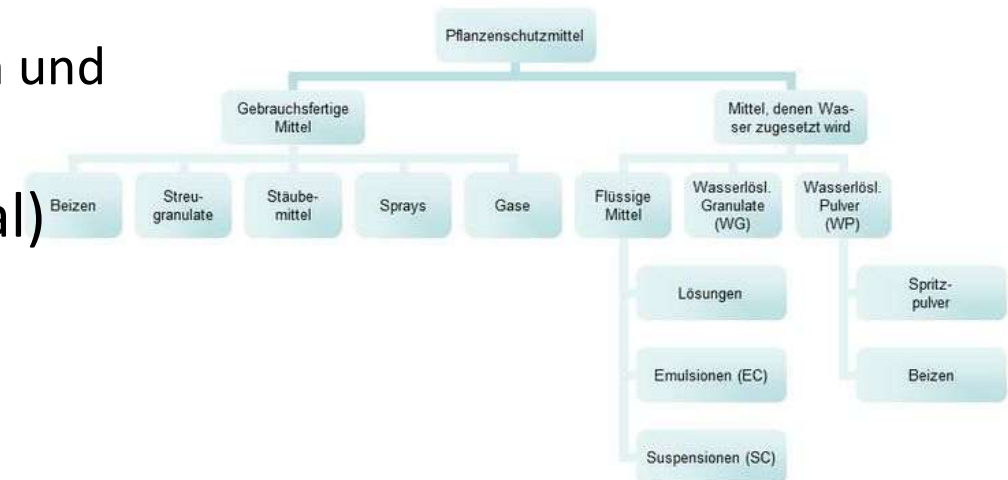
Pestizide = Pestizidwirkstoffe (z.B. Glyphosat) + Beistoffe (zur Verbesserung der Handhabung, Aufnahme und Wirksamkeit der aktiven Substanzen)

- z.B. Talk, Wasser, Kieselgur, Kaolin, Kalk
- Lösungsmittel, Mineralöle, Tenside, Emulgatoren und Stabilisatoren, PVC, Organosilikone

➤ **Formulierungen** sind oft (bis zu 1.000-mal) toxischer als die reine Substanz



Zusammensetzung von Pestiziden aus Wirkstoffen und Beistoffen



Mesnage, R., Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J., & Séralini, G. E. (2014). Major pesticides are more toxic to human cells than their declared active principles. *BioMed research international*, 2014.

Geschichtliches zu Pestiziden und deren Einsatz (I)

2500 BC:	Einsatz von Schwefel gegen Schädlinge in Mesopotamien
Im Mittelalter:	Arsen, Quecksilber, Blei
Seit 18. Jhdt.:	pflanzliche Wirkstoffe: Nikotin aus Tabakpflanzen, Pyrethrum aus Chrysanthemen
2. Hälfte 19. Jhdt.:	breiter Einsatz von anorganischen Pestiziden , nachdem verschiedene Schaderreger nach Europa eingeschleppt wurden und zu katastrophalen Missernten führten (z.B. Phythophtora bei Kartoffeln ab 1845 in Irland, Falscher Rebenmehltau im Weinbau 1878); „ Schweinfurter Grün “, ein kupferhaltiges Arsensalz als Insektizid Eisen(II)sulfat, Kupfer(III)sulfat, Natriumchlorat und Schwefelsäure zur Unkrautbekämpfung
1892:	erstes synthetisches, organisches Insektizid (Antinonin), von Bayer entwickelt
1930er Jahre:	Organochlor-Insektizide (DDT, Lindan)
1940er Jahre:	erste synthetische Herbizide (2,4-D 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure) weitere chlororganische Verbindungen (Chlordan, Aldrin, Dieldrin) als Insektizide (als „ <i>schmutzige Sieben</i> “ heute fast weltweit verboten!)

Geschichtliches zu Pestiziden und deren Einsatz (II)

Viele spätere Pestizidwirkstoffe, v.a. **Organophosphate**, waren zunächst als Kampfgase in Kriegen im Einsatz (z.B. Tabun, Sarin)!

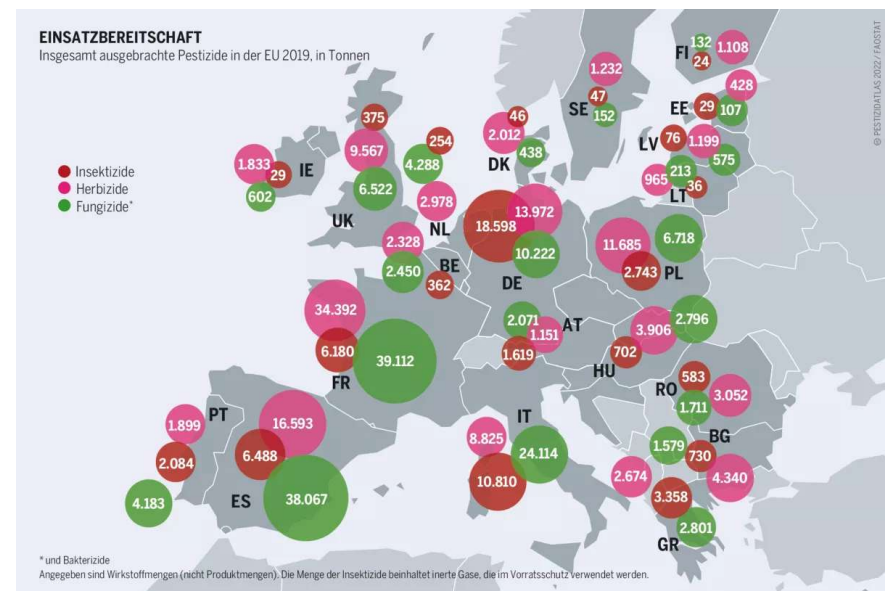
Ab 1945	Thiocarbamate und Phenylharnstoffe als Herbizide
Ab 1960	Triazine (z.B. Atrazin), Nitrile, Carbamate (Carbaryl, Carbofuran) als Herbizide und als Insektizide
Ab 1970	Synthetische Pyrethroide (Deltamethrin, Permethrin) als Insektizide
Ab 1980	Aminosäurederivate (z.B. Glyphosat, Glufosinat) als Herbizide
Ende der 1980er	Einführung der Neonikotinoide , die heute weltweit die am weitesten verbreitete Wirkstoffklasse unter den Insektiziden darstellen.



Seit den 1980er Jahren erfolgt die gezielte Synthese von Stoffen, die in den biochemischen Stoffwechsel (Enzymreaktionen) eingreifen; Mit diesen Produkten wurde es möglich, die erforderlichen Wirkstoffmengen immer mehr zu reduzieren

Pestizideinsatz in der Landwirtschaft: Zum Stand der Dinge in Österreich, Europa und dem Rest der Welt

- In der europäischen Landwirtschaft sind ca. 290 Pestizidwirkstoffe zugelassen, die zusammen mit sog. Beistoffen verschiedene Rezepturen („Formulierungen“) bilden
- in A und D sind 1.200 Pestizidprodukte zugelassen (in den USA rd. 16.000!)
- 200.000t Pestizidwirkstoffe/ Jahr in der EU, davon
 - 48.000t in Deutschland
 - 4.800t in Österreich, das entspricht 13.000t Pestizide (Stand 2019)
- 900.000t in den USA (=23% des Weltverbrauchs)
- Seit 1950 ist die Menge der eingesetzte Pestizide um das 50-fache gestiegen
- 50% Herbizide, 30% Insektizide, 20% Fungizide (Schwerpunkt kühl-gemäßigte Zonen: hier 30%)



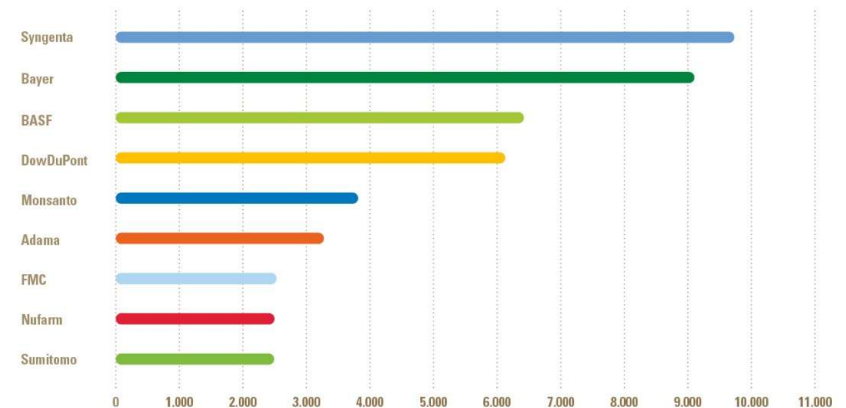
Pestizideinsatz in der Landwirtschaft: Zum Stand der Dinge in Österreich, Europa und den Rest der Welt

- Geschätzter weltweiter Gesamtumsatz mit Pestiziden: 48 Milliarden €
- Sechs Konzerne kontrollieren 75% des weltweiten Pestizidgeschäftes, davon drei mit Sitz in Europa (BASF, Bayer, Syngenta – mit 23% Marktanteil der weltweit größte Pestizidhersteller) und drei in den USA (Dow, DuPont, Monsanto)
- 23% der Umsätze in Europa, 20% in Nordamerika, 30% in Asien, 24% in Lateinamerika, 4% in Afrika (Stand 2018)

(Quelle: Industrieverband Agrar)

Ökosysteme und deren anthropogene Belastungen

Pflanzenschutz:
Umsatz weltweiter Konzerne in Mio. US-Dollar



© Industrieverband Agrar e.V. (IVA)

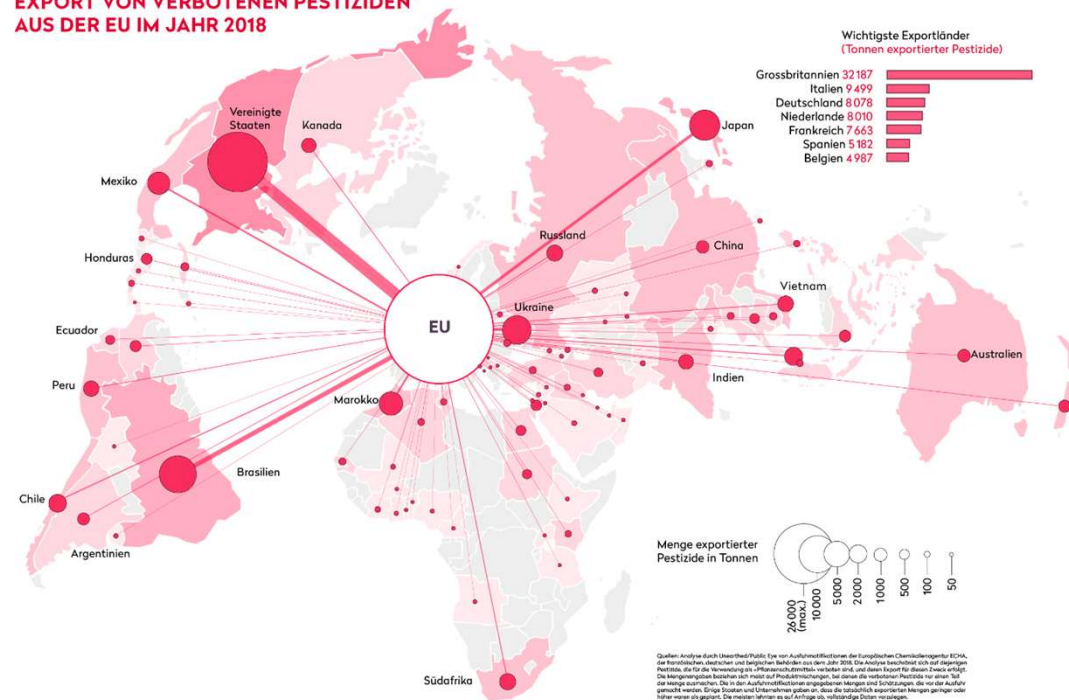
Globales Ranking nach Umsatz 2017 in Mio. US-Dollar, bei unterschiedlichen Terminen der Jahresabschlüsse; Quelle: Phillips McDougall



Pestizideinsatz in der Landwirtschaft: Zum Stand der Dinge in Österreich, Europa und dem Rest der Welt

- Weltweit größter Verbraucher ist Brasilien (Stw. Biotreibstoff – Ethanol-Produktion)
- Weltweit 0,5kg Pestizidwirkstoffe/Kopf, 1,5kg/ha; in der EU ca. 3,5kg/ha/Jahr
- 1g Pestizid/kg bei Getreide
- 5-10 kg/ha in Sonderkulturen
- 40kg/ha/Jahr bei Bananen (Fungizide machen 50% der Produktionskosten bei Bananen aus!)
- bis zu 130kg/ha z.B. holländische Blumenkulturen

EXPORT VON VERBOTENEN PESTIZIDEN
AUS DER EU IM JAHR 2018

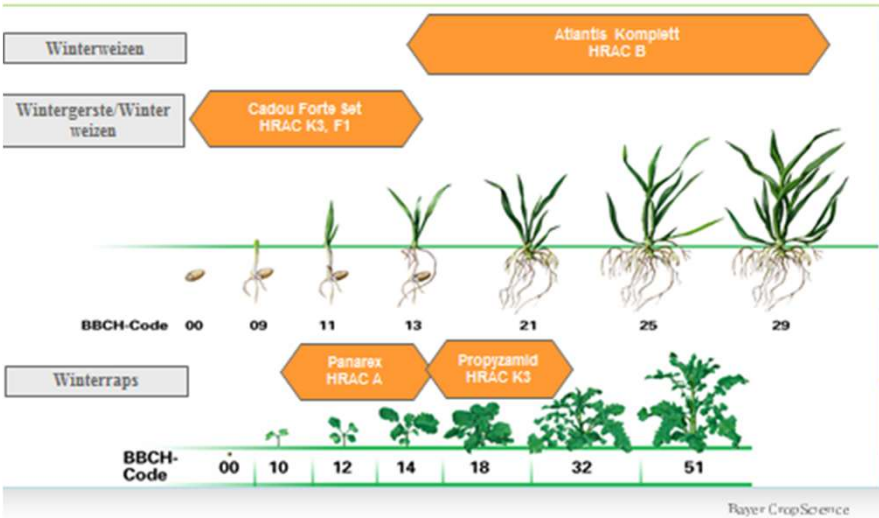


(vgl. Nentwig 2005).
Ökosysteme und deren anthropogene Belastungen

Herbizide

- **Herbizide** dienen der Bekämpfung unerwünschter Pflanzen. Seit dem 19. Jahrhundert wurden **anorganische Verbindungen** (Kupfer(II)-sulfat, Eisen(III)-sulfat, Natriumchlorat) verwendet. Heute werden v.a. **organische Verbindungen** verwendet, die aus einer Vielzahl von Stoffgruppen bestehen.
- >200 Wirkstoffe mit etwa 20 Wirkungsweisen, meist **stoffwechselwirksam durch Enzymhemmung**, Eingriff in Photosynthese, Carotinoidsynthese, Zellatmung, Fettsäurestoffwechsel, Aminosäuresynthese, Zellwachstum oder Zellteilung.
- Zumeist flüssig, als **Boden-/Wurzel- oder Blattherbizide**, **Kontakt- oder Systemherbizide**, **Selektiv- oder Totalherbizide**.
- Selektive Wirkung von Herbiziden kann durch sog. „Safener“ (Erhöhung der **Herbizidtoleranz** bei Einkeimblättrigen), oder durch gentechnische Veränderung der Kulturpflanzen (**Resistenz**) erreicht werden. Solche **transgene Pflanzen** sind in der Lage, Enzyme zu synthetisieren, die den Herbizidwirkstoff unschädlich machen (z.B. Sojabohne, Raps, Mais, Baumwolle gegenüber Glyphosat oder Glufosinat).

Herbizid-Management – Vielfalt der Wirkmechanismen für Ackerfuchsschwanz-Standorte in Winterraps-Fruchtfolge



Beikräuter mit Herbizidresistenzen sind z.B. Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), Windhalm (*Apera spica-venti*), Gemeine Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*).

Chemische Herbizide und deren Wirkungsweisen

Wuchsstoffe

- Wirken wie ein pflanzliches Wachstumshormon und töten die Pflanze, indem sie unkontrolliertes Wachstum auslösen (als Bestandteil von Agent Orange im Vietnamkrieg 1967/68 eingesetzt). Breitblättrige (=Zweikeimblättrige) sterben durch Nahrungsmangel, Einkeimblättrige (Getreide) sind toleranter und überleben (z.B. 2,4-D).

Photosynthesehemmer

- greifen in Photosynthese ein (z.B. Atrazin, Paraquat)

Aminosäuren- und Biosynthesehemmer

- stören die Stoffwechselwege, die Aminosäuren und andere Biomoleküle aufbauen (systemisches Breitbandherbizid); (z.B. Glyphosat Glufosinat, Flazasulfuron)

Wirkstoffe und deren Wirkungsweisen

Atrazin: Chlortriazin, in USA zweithäufigstes Pestizid (34 Mio. kg/Jahr) (Hersteller: Syngenta)

- Schilddrüsen- und Eierstockkrebs sowie Beeinflussung des Hormonsystems sind nachgewiesen
- In Ö seit 1995 verboten
- In Grundwasserproben noch Jahrzehnte später nachgewiesen (aus Boden ausgeschwemmt)

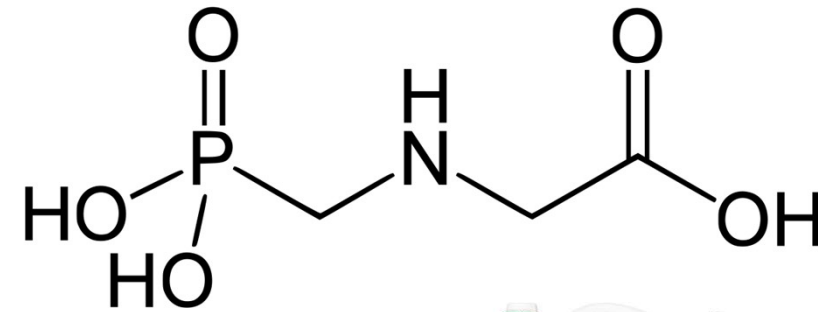
Paraquat: Ammoniumverbindung, Photosynthesehemmer, Kontaktgift; wird in Tropen zur Unkrautbekämpfung in Obst- und Weingärten, Kaffee-, Tee-, Ölpalmen- und Bananenplantagen (Hersteller: Syngenta)

- Zur Auslösung von Parkinson bei Labortieren eingesetzt!
- In der EU seit 2007 verboten

Wirkstoffe und deren Wirkungsweisen

Glyphosat (Markenname Roundup von Monsanto, heute allein in D über 80 Produkte mit dem Wirkstoff zugelassen, in Ö 50)

- Organophosphorverbindung, Aminosäurederivat
- **Totalherbizid**, ursprünglich als Rohrreinigungsmittel eingesetzt
- **Systemisches Pestizid**: Wirkstoff wird von Wurzeln und Blättern aufgenommen und verteilt sich in der gesamten Pflanze (im Unterschied zu Kontaktgiften)
- Seit den 1990er Jahren in Kombination mit gentechnisch verändertem Mais (seit 1996 hat sich Einsatz verfünffach)
- Weltweit 825 Mio. kg (=100g/ErdenbürgerIn), davon 19% in den USA
- In Ö: Begrenzung auf max. 2 Anwendungen/Jahr, max. 3,6 kg/ha/Jahr; Einsatz zur Reifespritzung bei Getreide
- Rückstände von Glyphosat in Urin, Lebensmitteln, Bier, Wein, Schokolade, Waldbeeren (Stw. Forstwirtschaft, Baumschutz)

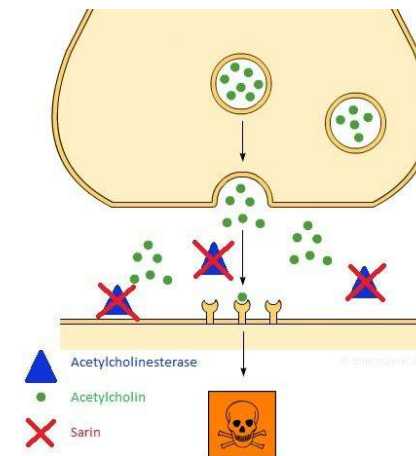
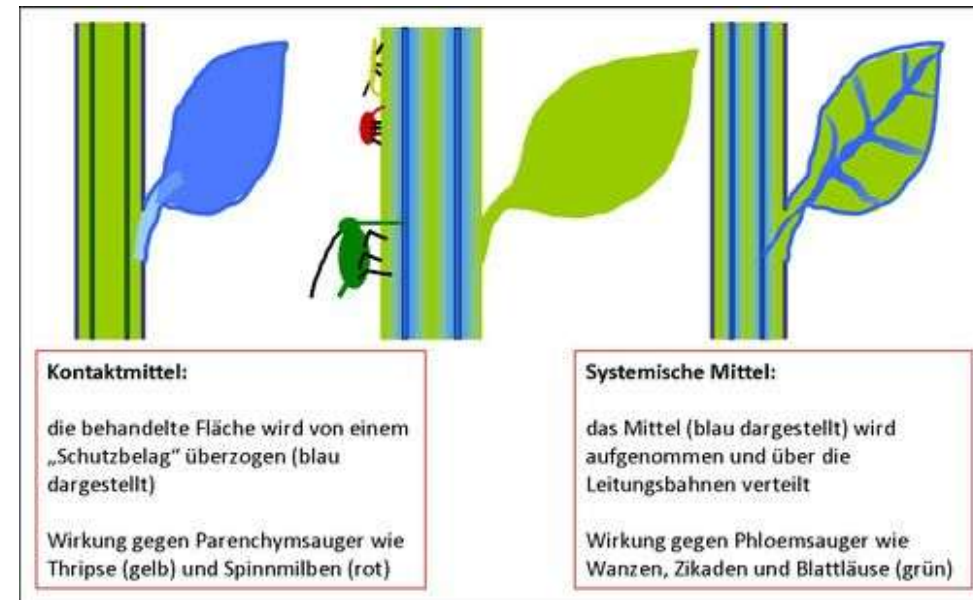


Benbrook, C. M. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 3.

Ökosysteme und deren anthropogene Belastungen

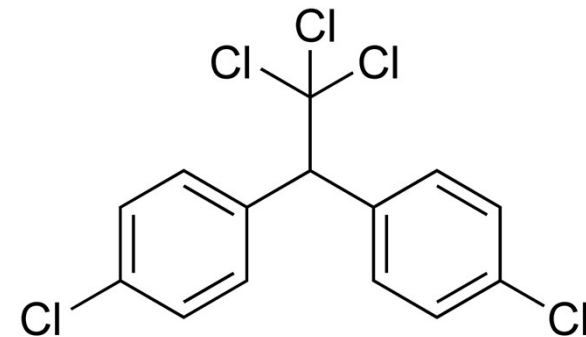
Insektizide

- synthetische oder natürliche Stoffe, die zur Bekämpfung tierischer Schädlinge (beißende und saugende Insekten) in Agrarökosystemen Einsatz finden.
- als **Fraß-, Kontakt- und Atemgifte** von Insekten aufgenommen, manchmal in Kombination mit Pheromonen eingesetzt
- Meist **Störung des Nervensystems**: Deaktivierung des Enzyms Acetylcholinesterase, **Hemmung der Nervenleitung** (Phosphorsäureester, Carbamate, Neonicotinoide)
- Pyrethroide wirken auf die Ionenkanäle von Nervenzellen bei der Reizleitung
- Einige greifen in **Entwicklungsvorgänge** ein: Störung der Biosynthese des Chitinpanzers (z.B. Benzylharnstoffe), Hemmung der Entwicklung von der Larve zum adulten Tier (Fenoxycarb, Pyriproxifen)



Insektizide

Synthetische Insektizide sind heute nahezu ausschließlich organische Verbindungen. Anorganische Wirkstoffe wie Arsen oder Cyanwasserstoff (Blausäure) finden keine Anwendung mehr bzw. sind verboten. Die wichtigsten Verbindungen sind:



Dichlordiphenyltrichlorethan DDT

Organochloride (Chlorierte Kohlenwasserstoffe)

- Erste synthetische Insektizide; Nervengifte
- **Dichlordiphenyltrichlorethan DDT**: Kontakt- und Fraßgift; Kartoffelkäfer- und Läusebekämpfung, in der Forstwirtschaft gegen Maikäfer
- Im Baumwollanbau bis 35kg DDT/ha
- Anreicherung von DDT im Fettgewebe von Tieren und Menschen; Krebsverdacht
- In Ö in den 1980er Jahren verboten



Insektizide

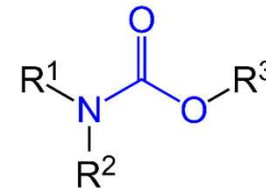
Phosphonsäureester

- **Nervengifte**, zu denen auch die **Kampfstoffe Tabun und Sarin** gehören. Die meisten dieser Insektizide haben für Säugetiere geringe Toxizität, weil diese sie über die Leber ausscheiden können, sind aber für aquatische Organismen (Fische, Krebse) hoch giftig (z.B. Parathion E605, Phosphamidon...)



Carbamate

- Seit 1990er Jahren verwendete Organophosphate **systemische Nervengifte**, z.B. Pirimicarb, das als schonend für Marienkäfer und Flurfliegenlarven gilt.



Strukturformel Carbamate



Pyrethroide

- synthetisch hergestellte Kontaktgifte, auf Basis der in Chrysanthemen vorkommenden Pyrethrine, allerdings etwa 400x giftiger als diese; fettlöslich, können sich daher im Fettgewebe anreichern; wirken **neurotoxisch**.



Benzylharnstoffe

- Hemmen die Entwicklung von Insekten im Larvenstadium (blockieren die Chitin-Biosynthese)

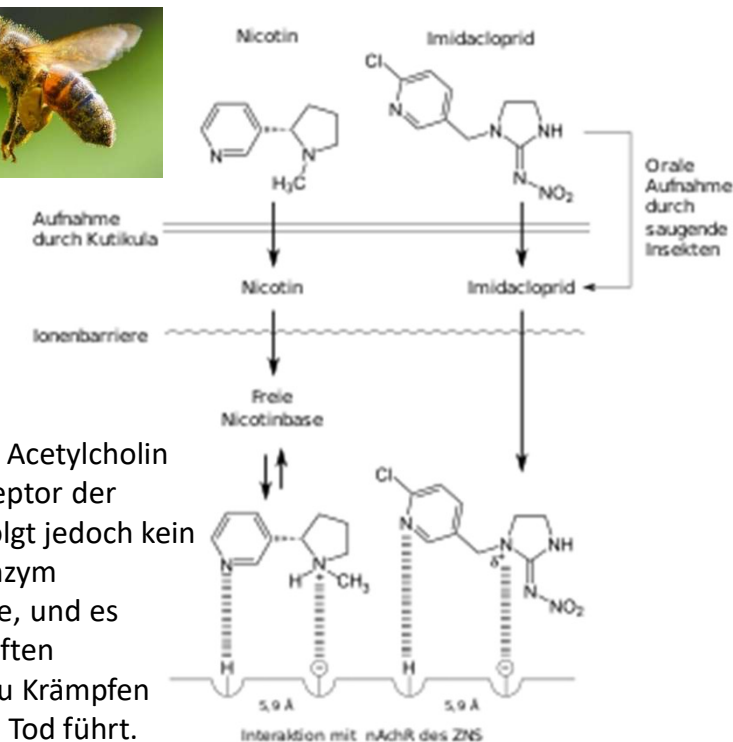
Ökosysteme und deren anthropogene Belastungen

Insektizide

Neonikotinoide:

- Heute vorherrschend; Nervengifte, häufigste Klasse in Landwirtschaft und Obstbau, Veterinärmedizin und Fischfarmen; Saatgutbeize (Mais)
- Rd. ¼ des globalen Insektizidmarktes; 68% der Produktion aus China
- Bei 140 verschiedenen Kulturpflanzen in 120 Ländern eingesetzt, Anwendung zur **Beizung von Saatgut**
- 8 Wirkstoffe: Z.B. Imidacloprid, Thiacloprid, Clothianidin usw.
- Kombinationsprodukte
- Rückstände in Honig. Anreicherung in Böden und Oberflächenwässern
- EU-Kommission hat die Nutzung von drei Neonikotinoiden (Clothianidin, Imidacloprid, Thiametoxam) 2013 eingeschränkt – **2018 wurde Verbot des Einsatzes in Freilandkulturen beschlossen, 2021 endete auch die Zulassung für Thiacloprid – allerdings mit Ausnahmeregelungen u.a. in Ö!** - mit Stand April 2021 sind in Ö elf Pflanzenschutzmittel mit Acetamiprid und eines mit Clothianidin (befristet zur Saatgutbehandlung bei Zuckerrüben vom 1. Feb. 2021 bis 1. Mai 2021) zugelassen.

Name	Struktur	Umsatz in Mio US\$ (2009)	Toxizität Biene (LD ₅₀ oral)	Grenzwert für Honig (EU-VO396/2005)	Bestimmungsgrenze QSI
Imidacloprid		1.091	0,004 µg	0,05 mg/kg	0,005 mg/kg
Thiamethoxam		627	0,005 µg	0,05 mg/kg	0,001 mg/kg
Clothianidin		439	0,004 µg	0,05 mg/kg	0,005 mg/kg
Acetamiprid		276	14,53 µg	0,05 mg/kg	0,001 mg/kg
Thiacloprid		112	17,32 µg	0,2 mg/kg	0,001 mg/kg



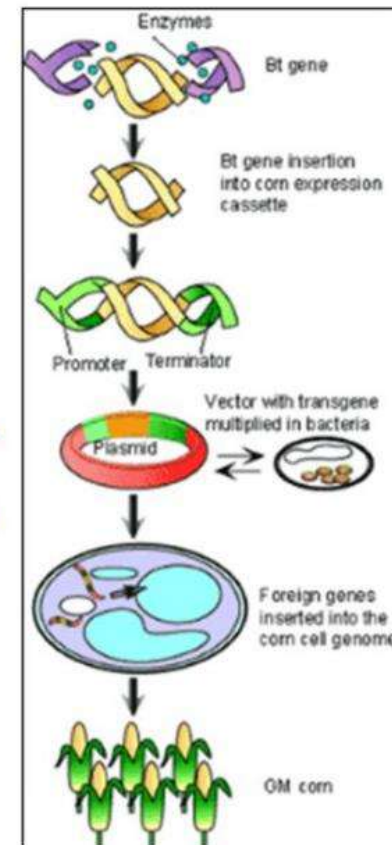
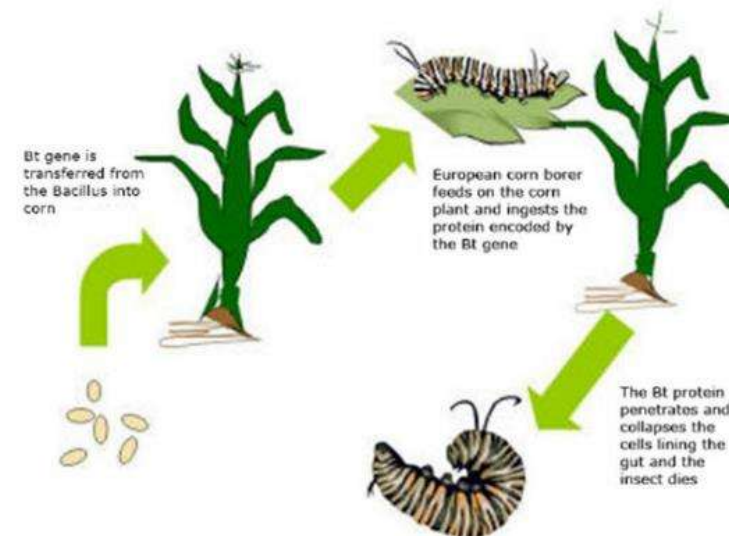
Bei Insekten wirken Neonikotinoide wie Acetylcholin am Acetylcholinrezeptor der Nervenzelle. Es erfolgt jedoch kein Abbau durch das Enzym Acetylcholinesterase, und es kommt zur dauerhaften Stimulierung, was zu Krämpfen und schließlich zum Tod führt.

Natürliche Insektizide

- werden aus Organismen gewonnen, hauptsächlich handelt es sich um **sekundäre Pflanzenstoffe** (v.a. Alkaloide, Pyrethrine), die von Pflanzen zum Schutz vor Fressfeinden erzeugt werden:
 - Nikotin: Extrakt aus Tabakpflanzen, Neurotoxiikum, das auch für andere Organismen (z.B. Regenwürmer) hoch giftig ist.
 - Quassin: Aus der südamerikanischen Baumart *Quassia armara* gewonnen, Einsatz zur Bekämpfung von Blattläusen und Raupenschädlingen
 - Rotenon: Nervengifte aus tropischen Leguminosen-Arten, auch für Fische giftig!
 - Azadirachtin: aus Samen des indischen Niembaumes (*Azadirachtha indica*); Fraßhemmend, die Metamorphose von Insekten hemmend, gewinnen zunehmend an Bedeutung.
 - Bacillus thuringiensis (Bt): natürliches Insektizid aus einem Bakterium, Sog. Gamma-Endotoxine zerstören das Darmepithel von Insekten, die daraufhin sterben. Es sind **140 Stoffe** bekannt, die **jeweils auf unterschiedliche Insektengruppen wirken** und im **Ökologischen Landbau (Mais-, Kartoffel- Obst- und Gemüseanbau)** von **Bedeutung** sind.

Bt Corn

- Clone the Bt toxin gene then insert it into the corn genome



Genmaterial von *Bacillus thuringiensis* kann mittels Gentransfer in pflanzliches Erbgut eingebracht werden. 19

Fungizide

- Einsatz gegen Falschen und Echten Mehltau, Brand- und Rostpilze (Getreide), Kraut- und Knollenfäule (Kartoffeln, Tomaten)
- Oft zur Beizung von Saatgut verwendet
- Häufig intensive Behandlung erforderlich, daher relativ hohe Grenzwerte bzgl. tolerierten Rückständen (z.B. Pilzbekämpfungsmittel Iprodion in Feldsalat)



Pestizideinsatz in der Landwirtschaft

Kultur	Anzahl der Behandlungen/Jahr
Apfel	31 (entspricht >1 Behandlung/Woche)
Wein	18
Kartoffel	12
Hopfen	9
Weizen	6
Mais	2

Herbizide finden v.a. im Ackerbau (Mais, Raps, Rüben, Wintergetreide), **Fungizide** im Obst-, Wein- und Hopfenanbau Anwendung.



Ökotoxikologie

Untersucht die Folgen des Einsatzes von Pestiziden für Mensch und Umwelt:

- Wirkungen auf Organismen sowie auf „Ökosystemdienstleistungen“
- Bodengesundheit, Bodenleben (5.000-10.000 Kg Regenwurmbiomasse/ha)
- Wasser- und Luftqualität
- Produktivität, Regenerationsfähigkeit und Resilienz von Ökosystemen

Wirkungen von Pestiziden auf Amphibien

- Halbwertszeit von **Neonikotinoiden** im Boden beträgt – je nach Wirkstoff und Bodenart zwischen 7 und 7.000 Tagen
- Hohes Auswaschungspotenzial
- Versuche an Erdkröten: Schwanz-Fehlbildungen; bei direktem Kontakt Sterblichkeitsraten bis zu 100% bei Grasfröschen
- **Atrazin** kann bei Fröschen zu Geschlechtsumwandlung führen; Testosteronmangel („chemische Kastration“), umgewandelte Frösche bringen nur männliche Nachkommen zur Welt – Aussterben der Froschpopulationen > „endokriner Disruptor“, der das Hormongleichgewicht zerstört
- Atrazin ist seit den 1990er Jahren verboten, jedoch immer noch in Böden und Gewässern nachweisbar

Hayes, T. B., Khoury, V., Narayan, A., Nazir, M., Park, A., Brown, T., ... & Gallipeau, S. (2010). Atrazine induces complete feminization and chemical castration in male African clawed frogs (*Xenopus laevis*). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(10), 4612-4617.

Brühl, C. A., Schmidt, T., Pieper, S., & Alscher, A. (2013). Terrestrial pesticide exposure of amphibians: An underestimated cause of global decline?. *Scientific reports*, 3, 1135.

Wirkungen auf Insekten

- **Neonikotinoide** sind extrem toxisch für Insekten, z.B. Bienen (Clothianidin 10.800x giftiger als DDT)
- Hummeln bleiben kleiner und produzieren 85% weniger Königinnen > entsprechend weniger Hummelvölker nach dem Winter;
- Reduktion der Eiablage um 30% bei Neonikotinoid-Konzentrationen von ein ppb im Pollen (bei realen Konzentrationen bis zu 100ppb)
- Weniger aktive Spermien bei Drohnen
- Folgen für Bestäubung (80% aller Kulturpflanzen weltweit hängen von Bestäuberinsekten ab, geschätzter ökonomischer Wert 150 Mrd. € weltweit) und natürliche Schädlingsbekämpfung
- Vollverbot von Neonikotinoiden in der EU?

Van der Sluijs, J. P., Simon-Delso, N., Goulson, D., Maxim, L., Bonmatin, J. M., & Belzunces, L. P. (2013). Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services. *Current opinion in environmental sustainability*, 5(3-4), 293-305.

Whitehorn, P. R., O'Connor, S., Wackers, F. L., & Goulson, D. (2012). Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science*, 336(6079), 351-352.

Fischer, J., Mueller, T., Spatz, A. K., Greggers, U., Gruenewald, B., & Menzel, R. (2014). Neonicotinoids interfere with specific components of navigation in honeybees. *PloS one*, 9(3).

Goulson, D. (2013). An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 977-987.

Wirkungen auf Vögel

- Weltweiter Rückgang der Insekten und Spinnen in den vergangenen 35 Jahren um 50%
- Vogelfielfalt geht zurück, weil die Nahrungsbasis schrumpft, aber auch, weil durch Herbizide Pflanzen verschwinden, die Jungvögel als Deckung und Schutz benötigen (Rebhuhn, Goldammer, Feldlerche), Vögel sterben an Vergiftungen
- Schwund bei Beutegreifern (Rotmilane, Mäusebussarde) durch den Einsatz von Mitteln zur Bekämpfung von Nagetieren (Rodentizide), z.B. Wühlmäusen
- Häufig keine eindeutige Kausalzusammenhänge (aufwändige Freilandexperimente!) nachweisbar, vielmehr korrelative Muster und Indizien!

Hallmann, C. A., Foppen, R. P., van Turnhout, C. A., de Kroon, H., & Jongejans, E. (2014). Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature*, 511(7509), 341-343.

Hötter, H., Oppermann, R., Jahn, T., & Bleil, R. (2013). Protection of biodiversity of free living birds and mammals in respect of the effects of pesticides. *Julius-Kühn-Archiv*, (442), 91-92.

Köhler, H. R., & Triebkorn, R. (2013). Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond?. *Science*, 341(6147), 759-765.

Wirkungen auf Fledermäuse

- Auswirkungen von Pestiziden auf Fledermäuse werden bei den EU-Zulassungsverfahren nicht berücksichtigt, Bestände sind seit den 1960er Jahren rückläufig und z.T. zusammengebrochen.
- Beobachtet werden Störungen von Kommunikationsfähigkeit und Lernvermögen sowie des Immunsystems.

Clark, D. R. (1988). How sensitive are bats to insecticides?. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 16(4), 399-403.

Kunz, T. H., Anthony, E. L., & Ramage III, W. T. (1977). Mortality of little brown bats following multiple pesticide applications. *The Journal of Wildlife Management*, 476-483.

Savage, E. P., Keefe, T. J., Mounce, L. M., Heaton, R. K., Lewis, J. A., & Burcar, P. J. (1988). Chronic neurological sequelae of acute organophosphate pesticide poisoning. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 43(1), 38-45.

Stahlschmidt, P., & Brühl, C. A. (2012). Bats at risk? Bat activity and insecticide residue analysis of food items in an apple orchard. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(7), 1556-1563.

Systemische Wirkungen

- Fast ein Viertel der in der EU gefährdeten Arten sind durch Schadstoffe aus Land- und Forstwirtschaft bedroht.
- Wirkungen auf Nützlings-Schädlingsbeziehungen (Nützlinge übernehmen 50% der Schädlingskontrolle).
- Schäden durch Pestizidabdrift, Auswaschungen in das Grundwasser.
- „chronischer Botulismus“ bei Rindern (Bakterium *Clostridium botulinum*), vermutlich durch Glyphosat verursacht.
- Wirkungen auf die Biodiversität sollten lt. EU zwar bei der Prüfung von Pestiziden berücksichtigt werden, in die Praxis umgesetzt ist dies jedoch (noch) nicht.
- Widerstands- und Regenerationsfähigkeit (Resilienz) von Ökosystemen, z.B. gegenüber Wetterextremen und klimatischen Stressoren.
- In den USA werden geschätzte 10% der Pestizide eingesetzt, um aufkommenden Resistenzen zu begegnen.

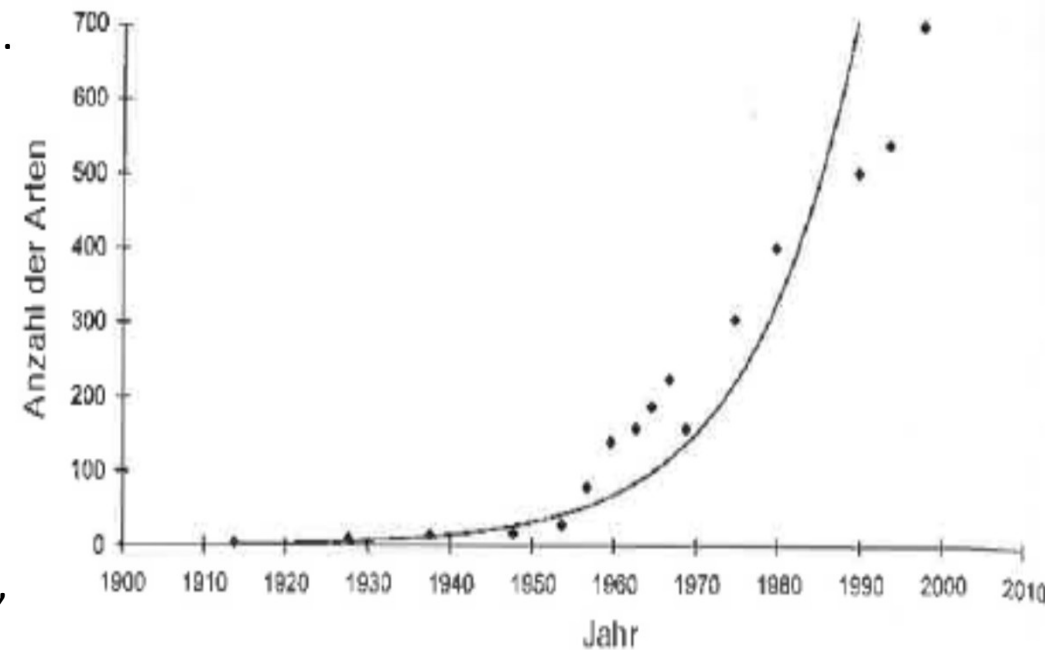
Gibbs, K. E., Mackey, R. L., & Currie, D. J. (2009). Human land use, agriculture, pesticides and losses of imperiled species. *Diversity and Distributions*, 15(2), 242-253.

Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., ... & Eggers, S. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97-105.

EASAC (European Academies Science Advisory Council). (2015). Ecosystem Services, Agriculture and Neonicotinoids. *EASAC policy report*, 26.

Pestizideinsatz und Bildung von Resistenzen

- Häufig systemisch wirkende Substanzen, die in der ganzen Pflanze verteilt werden
 - Tendenz hin zu Pestiziden mit mehreren Wirkstoffkomponenten oder zu gentechnisch veränderten Pflanzen, die gegenüber mehreren Herbiziden resistent sind.
 - Die meisten Einsätze finden vorbeugend statt!
- Moderne Pestizide sollen rasch abbaubar sein, um die Nebenwirkungen auf andere Organismengruppen gering zu halten.
 - Wesentlicher (und zunehmender) Nachteil vieler Herbizide ist die **Entstehung von Resistenzen** (evolutionären Anpassungen) bei den Zielorganismen. Bereits 1991 waren weltweit über 100 herbizidresistente Unkrautarten bekannt, z.T. mit **Doppel- und Dreifachresistenzen** (Nentwig 2005). Auch bei Insektiziden und Fungiziden sind zunehmend resistente Populationen bekannt.



Entwicklung der Zahl der Arthropodenarten mit Resistenz gegenüber mindestens einem Schädlingsbekämpfungsmittel im 20. Jahrhundert (aus: Martin & Sauerborn 2006)

PAN Germany
Pesticidal Actions Network e.V.

- ## Ökosysteme und deren anthropogene Belastungen

MITTEL, Pestizidwirkstoff Anzahl Max; ARFD, A. Wirkung auf die menschliche Gesundheit Wirkung auf die Umwelt.

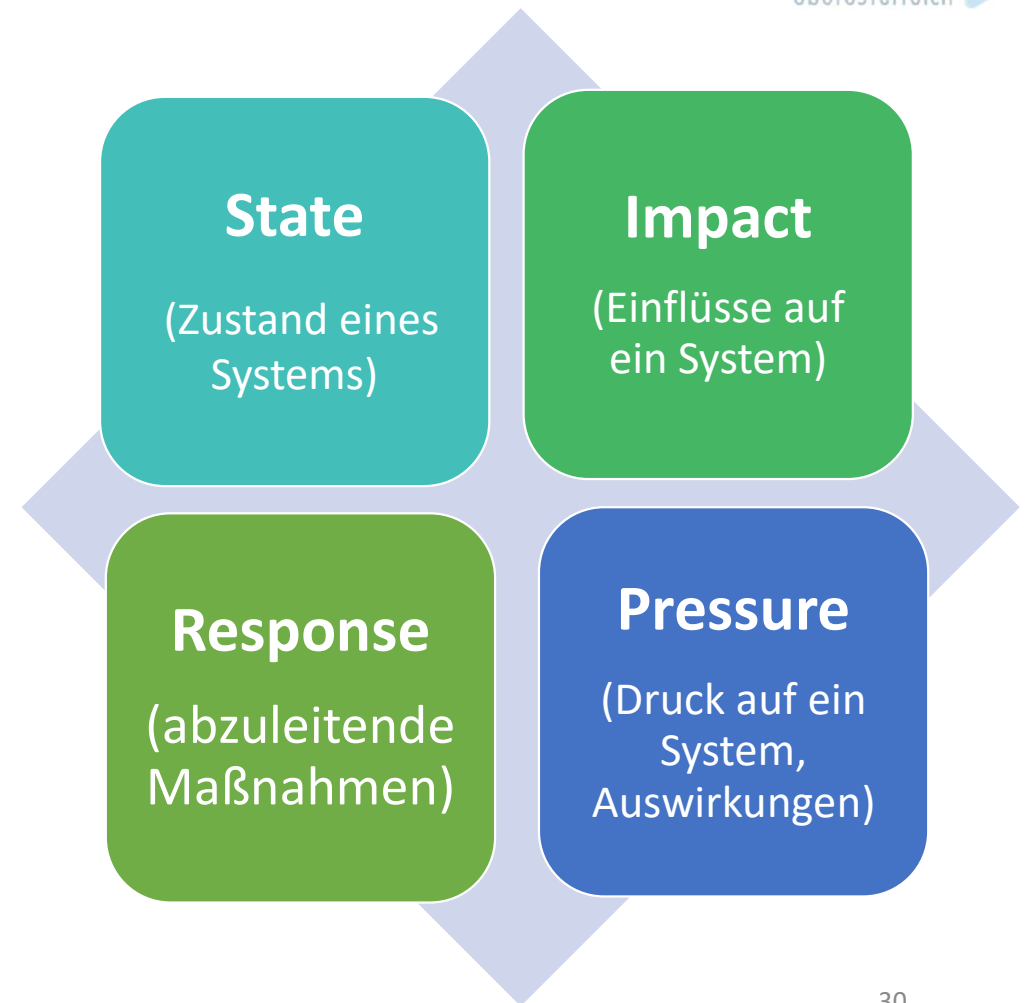
Indikatoren für Belastungen in Agrarökosystemen

Ziele von Indikatoren: Erfassen von

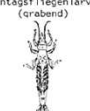
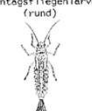
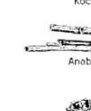
- State (Wie ist der Zustand des Systems?)
- Impact (Was sind die Einflüsse auf das System?)
- Pressure (Was sind die Auswirkungen auf ein System?)
- Response (Welche Maßnahmen sind abzuleiten?)

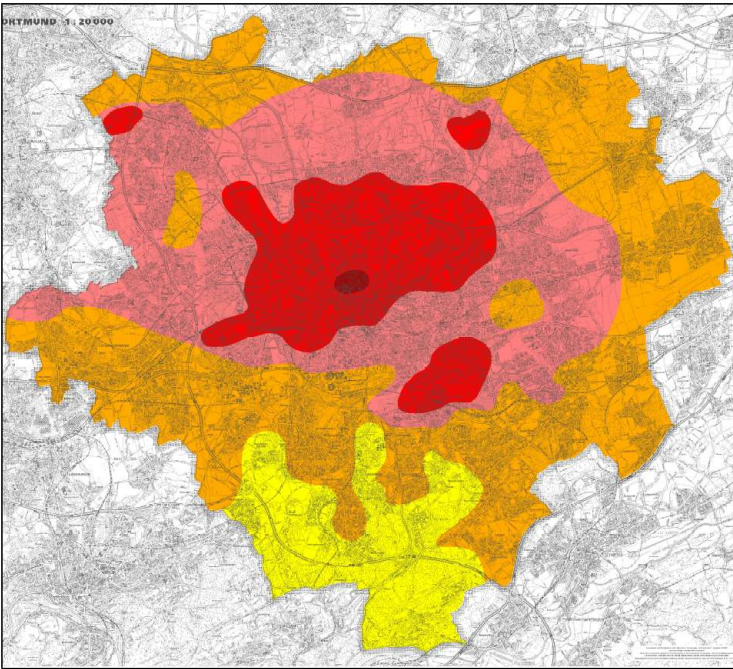
Z.B.

- Eutrophierung
- Belastungen mit Schadstoffen
- Störeinflüsse



Bioindikatoren

Güteklasse Saprobienstufe Saprobienindex Grad der organischen Belastung Sauerstoffversorgung	Die Gewässergütestufen mit wichtigen Zeigerorganismen			
	Wirbellose Tiere als Anzeiger für die Gewässergüte von Fließgewässern			
	Zeigerorganismen (Häufigstes Vorkommen der Tiere in der angegebenen Gewässergüte)			
I – I/II oligosaprobe Zone 1,0 – < 1,8 gering belastet O ₂ – Minima > 8 mg/l	Steinfliegenlarven  <i>Dinocras spec.</i>	Eintagsfliegenlarven (flach)  <i>Rhytrogena semicolorata</i>	Köcherfliegenlarven (mit Köcher)  <i>Silo sp.</i> Lidnückenlarven <i>Liponeura spec.</i>	Strudelwürmer  <i>Polycelis Crenobia felina alpina</i>
II beta-mesosaprobe Zone 1,8 – < 2,3 mäßig belastet O ₂ – Minima > 6 mg/l	Eintagsfliegenlarven (grabend)  <i>Ephemerid dufica</i>	Eintagsfliegenlarven (rund)  <i>Cleon simile</i>	Köcherfliegenlarven (mit Köcher)  <i>Anobolia nervosa</i> (ohne Köcher) <i>Rhyacophila (Rhyacophila)</i>	
II/III beta-mesosaprobe – alpha-mesosaprobe Zone 2,3 – < 2,7 kritisch belastet O ₂ – Minima > 4 mg/l	Eintagsfliegenlarven (rund)  <i>Baetis rhodani</i>	Schnecken  <i>Bithynia tentaculata</i>	 <i>Radix peregra</i>	Schneckenegel  <i>Glossiphonia heteroclita</i>
III alpha-mesosaprobe Zone 2,7 – < 3,2 stark belastet O ₂ – Minima > 2 mg/l	Wasserassel  <i>Asellus aquaticus</i>	Rollel  <i>Erbodella octoculata</i>		
III/IV – IV polysaprobe Zone 3,2 – 4,0 sehr stark belastet O ₂ – Minima < 2 mg/l	Schlammröhrenwurm  <i>Tubifex spec.</i>	Rote Zuckmückenlarve  <i>Chironomus thummi</i>		



Bsp. Zeigerpflanzen

- Manche **Pflanzenarten zeigen eine sehr enge Bindung an spezielle Standortqualitäten** und wachsen nur auf bestimmten Böden mit ganz spezifischen Bedingungen.
- Unter Laborbedingungen (ohne Konkurrenz) lassen sich für einzelne Pflanzenarten sogenannte **physiologische Optima** für einzelne Umweltbedingungen, wie z.B. Bodenreaktion, Wasserhaushalt oder Stickstoffgehalt, ermitteln. Diese repräsentieren Lebensbedingungen, unter welchen die Pflanzen am Besten gedeihen können.
- In der Natur bilden sich im Wettbewerb sogenannte **ökologische Optima** für die jeweiligen Arten heraus. Diese können zum Teil erheblich von den physiologisch bedingten Optimalverhältnissen abweichen.
- Da die **Vegetationsdecke** an einem Wuchsort ein **Produkt der Anpassung an die örtlich vorherrschenden Gegebenheiten** ist, lassen sich Rückschlüsse von den vorkommenden Pflanzen auf die Bodenverhältnisse tätigen.

Bioindikation von Bodeneigenschaften durch höhere Pflanzen
(Tab. verändert nach BASTIAN/ SCHREIBER 1999, S. 100)

Boden-Eigenschaften	Standort		
	Acker	Grünland	Wald
Wassergehalt			
trocken	Acker-Krummhals (<i>Lycopsis arvensis</i>)	Wiesen-Salbei (<i>Salvia pratensis</i>)	Fiederzwenke (<i>Brachypodium pinnat.</i>)
frisch	Klatschmohn (<i>Papaver rhoeas</i>)	Gamand.Ehrenpreis (<i>Veronica chamaedrys</i>)	Buschwindröschen (<i>Anemone nemorosa</i>)
feucht	Pfeffer-Knöterich (<i>Polygonum hydropiper</i>)	Zaunwicke (<i>Vicia sepium</i>)	Waldmeister (<i>Galium odoratum</i>)
		Sumpf-Dotterblume (<i>Caltha palustris</i>)	Pfeifengras (<i>Molinia caerulea</i>)
		Wald-Simse (<i>Scirpus sylvaticus</i>)	
Stickstoffgehalt			
gering	Ackerveilchen (<i>Viola tricolor</i>)	Gemein. Ruchgras (<i>Anthoxanthum odorat.</i>)	Schaf-Schwingel (<i>Festuca ovina</i>)
	Bauernsenf (<i>Teesdalia nudicaulis</i>)		Klein. Habichtskraut (<i>Hieracium pilosella</i>)
mäßig	Acker-Hundskamille (<i>Athemis arvensis</i>)	Kuckucks-Lichtnelke (<i>Lychnis flos-cuculi</i>)	Haar-Hainsimse (<i>Luzula pilosa</i>)
	Acker-Hellerkraut (<i>Thlaspi arvense</i>)	Wiesen-Kümmel (<i>Carum carvi</i>)	Schmalblättriges Weidenröschen (<i>Epilobium angustifoli.</i>)
hoch	Hühnerhirse (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	Wiesen-Kerbel (<i>Anthriscus sylvestris</i>)	Große Brennnessel (<i>Urtica dioica</i>)
	Kletten-Labkraut (<i>Galium aparine</i>)	Wiesen-Bärenklau (<i>Heracleum sphondyli.</i>)	Schwarz. Holunder (<i>Sambucus nigra</i>)
Bodenreaktion (pH)			
sauer	Kleiner Ampfer (<i>Rumex acetosella</i>)	Borstgras (<i>Nardus stricta</i>)	Heidekraut (<i>Calluna vulgaris</i>)
	Einjähriger Knäuel (<i>Scieranthus annuus</i>)	Gem. Ferkelkraut (<i>Hypochaeris radicata</i>)	Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>)
neutral	Echte Kamille (<i>Matricaria chamomilla</i>)	Glatthafer (<i>Arrhenaterum elatius</i>)	Wald-Flattergras (<i>Milium effusum</i>)
	Einjähr. Rispengras (<i>Poa annua</i>)	Wiesen-Pippau (<i>Crepis biennis</i>)	Große Sternmiere (<i>Stellaria holostea</i>)
basisch	Adonisröschen (<i>Adonis aestivalis</i>)	Kleiner Wiesenknopf (<i>Sanguisorba minor</i>)	Gefleckter Aronstab (<i>Arum maculatum</i>)
	Feld-Rittersporn (<i>Consolida regalis</i>)	Gemeiner Ziest (<i>Stachys officinalis</i>)	Sanikel (<i>Sanicula europea</i>)

Ansprüche an Indikatoren

- **Fragestellungsadäquanz:** Eignung des Indikators/Indikatorsets, zur **Beantwortung einer bestimmten Frage** notwendige, aussagekräftige Informationen zu liefern.
- **Genauigkeit: Möglichst exakte Beantwortung** der jeweiligen Fragestellung durch Einsatz des Indikators . Tatsächliche Veränderungen in der Umwelt sollten entsprechend genau durch den Indikator widerspiegelt werden. Setzt voraus, dass man die natürliche Schwankungsbreite des Indikators hinsichtlich relevanter ökologischer Faktoren kennt.
- **Repräsentanz: Übertragbarkeit** der aus dem Einsatz des Indikators/Indikatorsets gewonnenen Ergebnisse auf möglichst viele Komponenten des Ökosystems.
- **Ursache/Wirkung:** Veränderungen des Indikators sollten **Rückschlüsse auf deren Ursachen** zulassen. Ansonsten müssen zusätzlich entsprechende "diagnostic indicators" (RAPPORT, 1992; CAIRNS et al., 1993) eingesetzt werden.
- **Spezifität:** Reaktion des Indikators ist möglichst auf **einen bestimmten Umweltfaktor** zurückzuführen. Unspezifisch sind Indikatoren dann, wenn verschiedene Faktoren dieselbe Reaktion auslösen.

Weitere Ansprüche an Indikatoren

- **Reaktionszeit:** Indikatoren sollen so schnell reagieren, dass auf der Basis ihrer Reaktion abgeleitete Maßnahmen rechtzeitig – d. h. vor dem Eintreten irreversibler Schädigungen – greifen können (vgl. dazu die Funktion der *“early warning indicators”* im Sinne von RAPPORT, 1992, und CAIRNS et al., 1993).
- **Räumlicher Bezug:** Indikatoren sollen auf verschiedenen räumlichen Maßstabsebenen (lokal, regional, überregional) anwendbar sein.
- **Standardisierbarkeit/Reproduzierbarkeit:** Erhebungs- und Auswertemethodik sollten standardisierbar sein, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.
- **Aggregation/Information:** Trotz Aggregation darf der Informationsverlust nicht zu hoch sein: Indikatoren müssen wissenschaftlich fundiert sein und eine aussagekräftige Basis für umweltbezogene Kommunikation und zu setzende Steuerungsmaßnahmen sein.

➤ **Ein zentrales Problem stellt die „Eichung“ von Indikatoren dar!**

Indikatoren für Belastungen in Agrarökosystemen

Zustandsindikator Hemerobie:

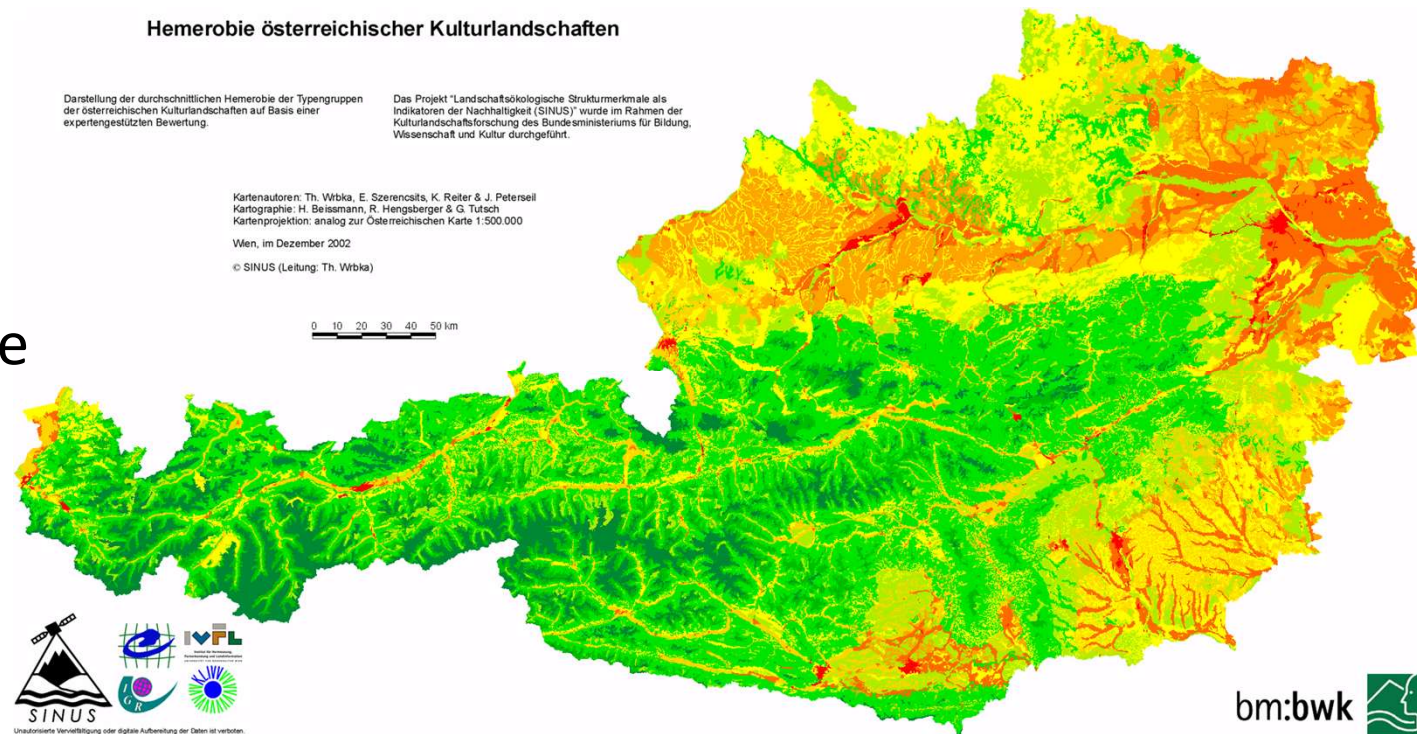
Maß für den menschlichen Einfluss auf natürliche Ökosysteme

Hemerobiestufe	Intensität des Einflusses (Hemerobie)	Zustand der Vegetation (Hemerobieindikator)
Ahemerobie	kein Kultureinfluss	natürliche Vegetation (z.B natürliche Felsstandorte, Urwald)
Oligohemerobie	schwacher Kultureinfluss	naturnahe Vegetation (z.B. schwach bewirtschaftete Wälder mit nur standortgerechten Arten)
Mesohemerobie	mäßiger oder periodischer Kultureinfluss	naturferne Vegetation (z.B. bewirtschaftete Wälder mit teilweise standortfremden Arten, Weiden und Heiden)
Euhemerobie	starker Kultureinfluss	naturfremde Vegetation (z.B. stark bewirtschaftete Wälder mit fremden Arten, Sport- und Zierrasen)
Polyhemerobie	sehr starker Kultureinfluss	kurzfristig nach Nutzungseingriffen entstehende Vegetation (z.B. Ruderalflächen auf Baugelände, sehr stark beeinflusste Standorte im Stadtökosystem)
Metahemerobie	Einseitiger und übermäßig starker Kultureinfluss	Vegetation nur noch mit einzelnen, spezialisierten Arten (natürliche Vegetation fast vollständig verdrängt, z.B. im Innenstadtbereich)

Indikatoren für Belastungen in Agrarökosystemen

Kriterien/Teilindikatoren:

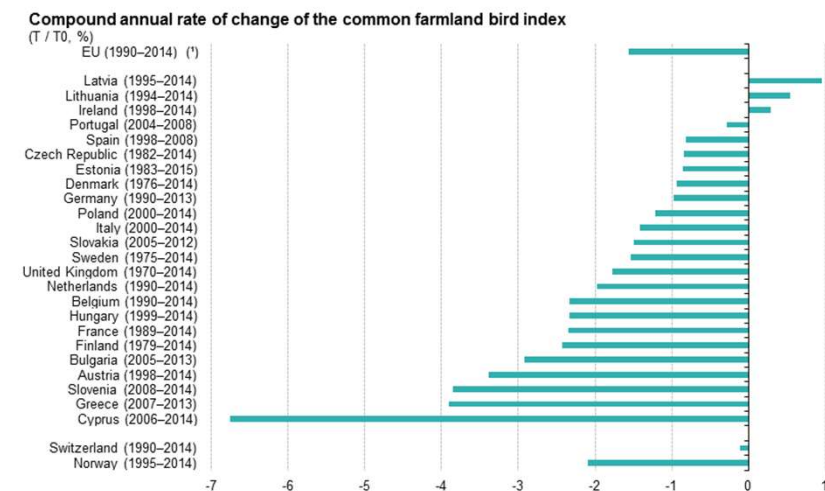
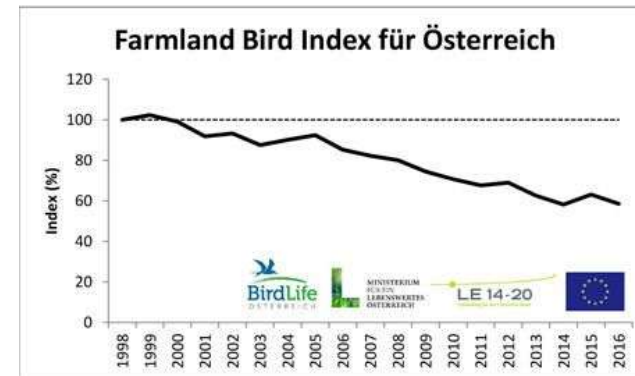
- Besiedlungsdichte
- Versiegelungsgrad
- Zerschneidung
- Konnektivität
- Naturnähe der Pflanzendecke



Indikatoren für Belastungen in Agrarökosystemen

Zustandsindikator Biodiversität

- Arbeit mit Indikatorarten bzw. Indikatorgesellschaften
 - Biozönose-orientierte Indikatorsysteme
 - Arten-orientierte Indikatorsysteme
 - Indikatorsysteme für die Bewertung des "Gesundheitszustandes" biologischer Objekte
 - Indikatorsysteme für biologische Prozesse. (BARBOUR et al. (1995))
- **Bsp. Synthetischer Bio-Indikator Farmland Bird Index**
 - Bestandsveränderungen charakteristischen Vögel der Agrarlandschaft
 - 24 Indikatorarten, nach standardisierten Methoden jährlich erhoben



Note: this variable is independent of the base year chosen and gives the same result for any of them, using the formula $RCH_A_C = (Y/Y_0)^{1/t} - 1$, where: t_0 = the earliest year; t = the most recent year; Y_0 = indicator value in the earliest year; and Y_t = indicator value in the most recent year. This variable makes it possible to compare the average annual rates of change between countries with different starting and end years of their time series. In economics, this variable is known as the compound annual growth rate and measures e.g. return on an investment over a defined period of time.

(*) Estimates. EU: aggregate changing according to the context.

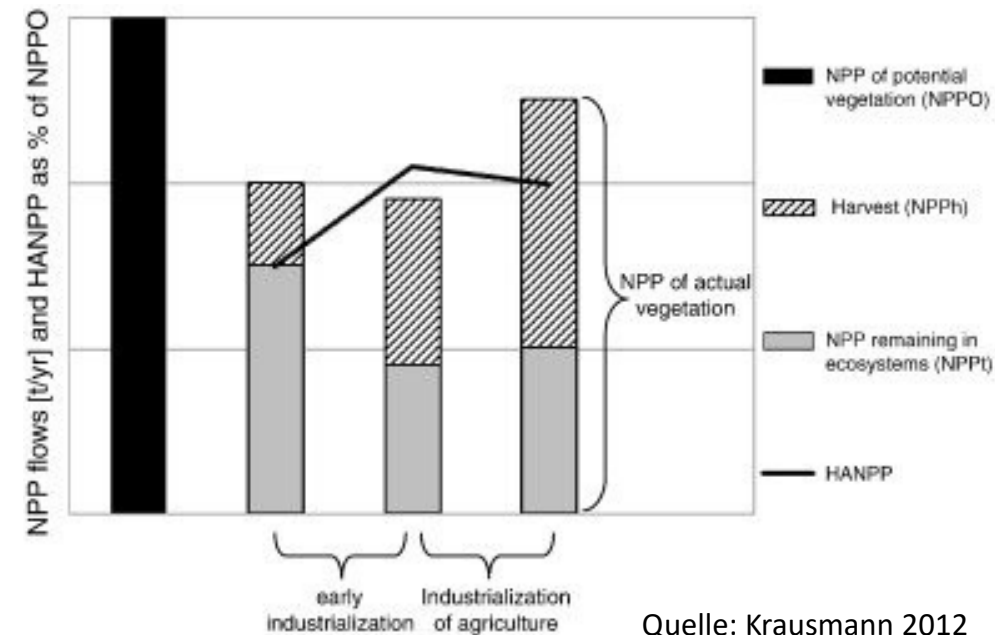
Source: Eurostat (online data code: env_bio2)

Indikatoren für Belastungen in Agrarökosystemen

Einfluss-Indikator Nutzungsintensität

- Nährstoffbilanz (N)
- Treibhausgasemissionen (CO_2 , N_2O , CH_4)
- Pestizidverbrauch
- Wasserverbrauch
- Materialintensität
- Bodenwirkung (Humusgehalt, Erosionsgefährdung, Verdichtung, Wasserhaltefähigkeit, Einträge usw.)

Bsp. Synthetischer Indikator HANPP (Human Appropriation of Net Primary Production = menschliche Aneignung der Nettoprimärproduktion)



HANPP ist zugleich ein Indikator für den Energie- und Materialdurchfluss in einem Ökosystem

Indikatoren für Belastungen in Agrarökosystemen

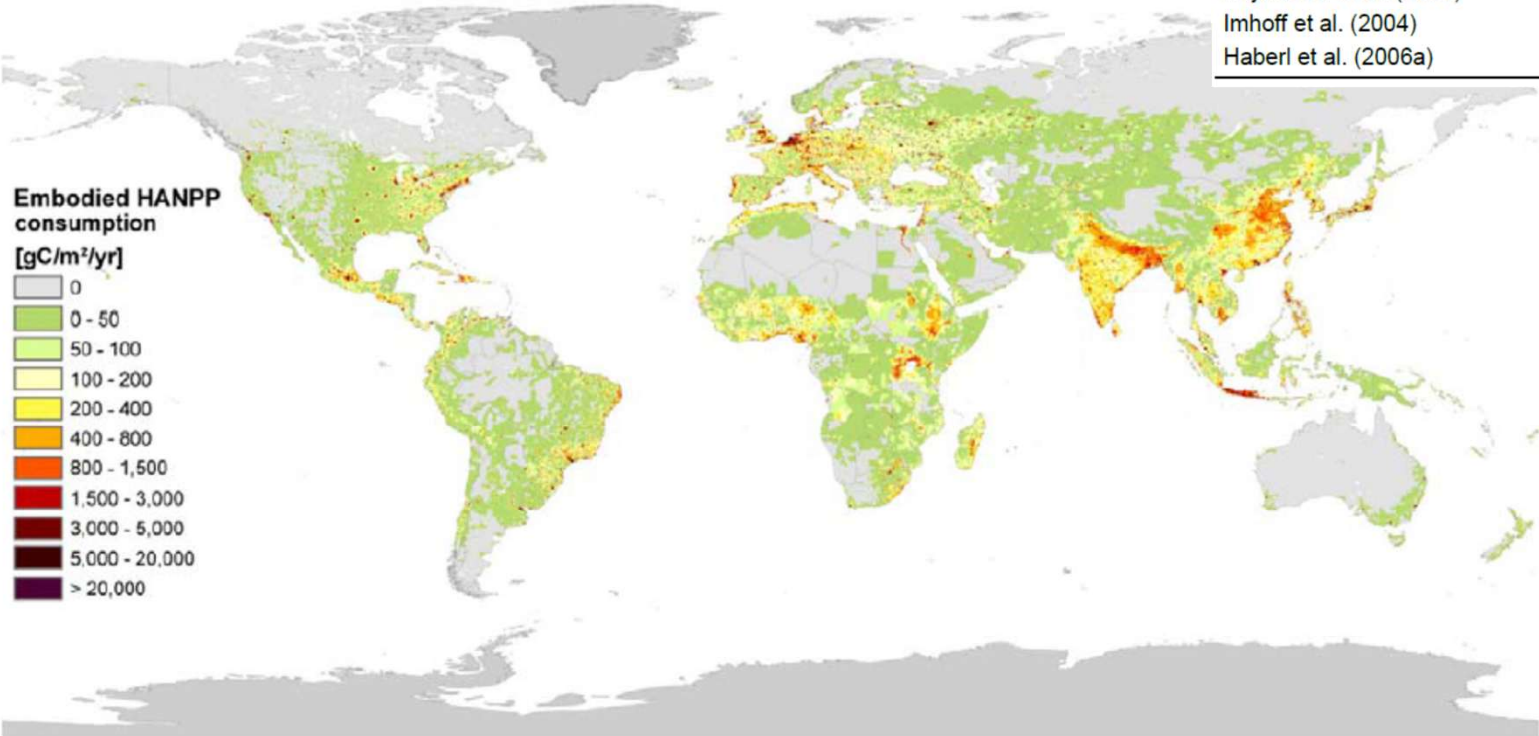


Fig. 1. Embodied HANPP associated with domestic biomass consumption in each grid cell. The map expresses HANPP equivalents of the apparent consumption of biomass products (domestic production plus imports minus exports) in gC/m²/year.

Table 1. Overview of estimates of global HANPP given by different authors.

Study	Reference time	HANPP absolute* [Pg C/yr]	HANPP relative* [%]**
Whittaker and Lieth (1973)	1950s	1.6	3%
Vitousek et al. (1986) low	1970s	2.6	3%
Vitousek et al. (1986) intermediate	1970s	20.3	27%
Vitousek et al. (1986) high	1970s	29.5	39%
Wright (1990)	1970s-1980s	17.7	24%
Rojstaczer et al. (2001)	1980s-1990s	19.5±14	32% (10-55%)
Imhoff et al. (2004)	1995	11.5 (8.0-14.8)	20% (14-26%)
Haberl et al. (2006a)	2000	14.7	22%

Quelle: Haberl et al. 2007

Indikatoren für Belastungen in Agrarökosystemen

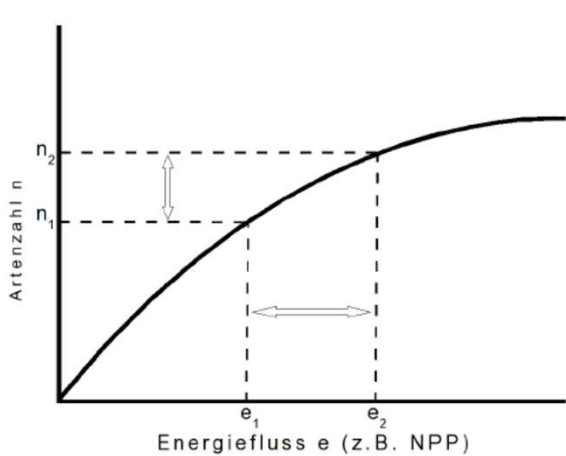


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Energiefluss und Artenzahl anhand der species-energy Hypothese. Verändert nach Wright (1990)

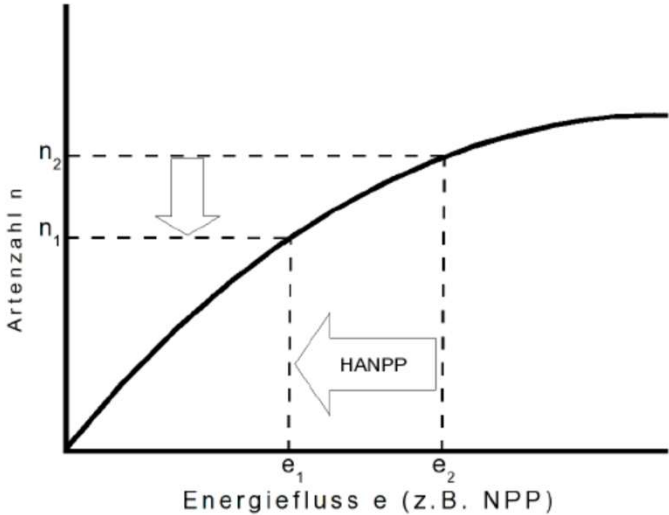
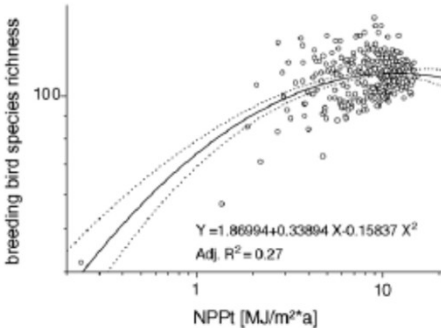
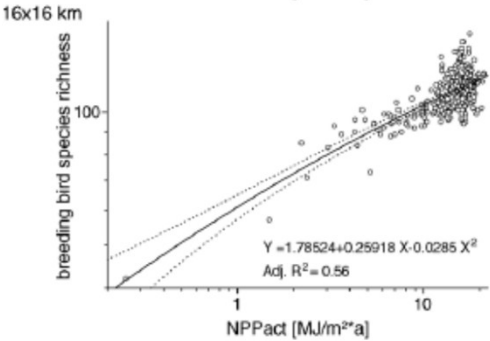
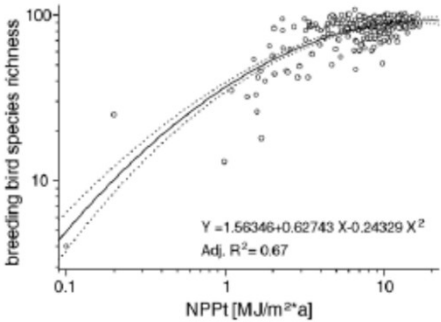
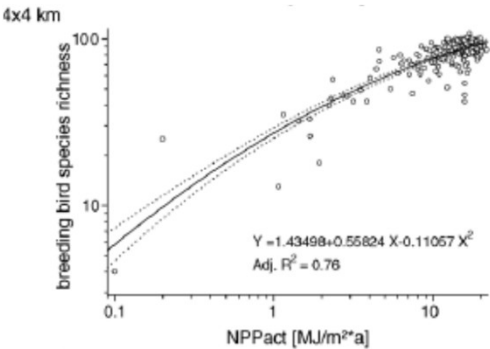


Abbildung 4: Artenzahl-Energie Kurve unter Berücksichtigung von HANPP. Verändert nach Wright (1990)



HANPP als aggregierter Druck-Indikator für Biodiversitätsverluste

Regression zwischen (log) NPP und (log) Brutvogeldiversität in Untersuchungsquadranten in österreichischen Kulturlandschaften

Quelle: Haberl et al. 2005

Biodiversität, Resilienz und adaptive Kapazität

