

Unbekannt, aber bedeutend: Treibhausgasemissionen infolge Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft in Deutschland und Sachsen-Anhalt

Andreas Gensior¹, Sascha Adam², Sophie Drexler¹, Roland Fuß¹, Andreas Laggner¹, Sebastian Rüter³, Wolfgang Stümer²

¹ Thünen – Institut für Agrarklimaschutz
Bundesallee 50
D-38116 Braunschweig
ak@ti.bund.de

² Thünen - Institut für Waldökosysteme
Alfred-Möller-Straße 1
D-16225 Eberswalde
wo@ti.bund.de

³ Thünen - Institut für Holzforschung
Leuschnerstraße 91
D-21031 Hamburg-Bergedorf
hf@ti.bund.de

emissionsinventare@thuenen.de

Deutschland muss jährlich THG-Emissionen berichten, weil

- es ein Annex I-Unterzeichner der UNFCCC und aller Folgeabkommen ist
- es ein EU-Mitgliedsstaat ist
- das Bundesklimaschutzgesetz (KSG) eine Berichterstattung festlegt

A very brief history of climate protection policy

1988 Gründung des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Rechtsverbindlichkeit

- Erfassen, Begreifen, Verschlimmerung ausschließen
 - ➔ UNFCCC (1994)
- Rechtlich verbindliche Minderungsziele
 - ➔ Kyoto Protokoll I. / II. (2005 / 2013)
- Rechtlich verbindliche Minderungsziele, Politiken, Transferleistungen
 - ➔ Diverse EU-Entscheidungen (z.B. 529/2013; 841/2018; 839/2023)
 - ➔ Pariser Abkommen (2020)
 - ➔ Klimaschutzgesetz (2021;
 -
 -
 -

A very brief history of climate protection policy

1988 Gründung des **I**ntergovernmental **P**anel on **C**limate **C**hange (**IPCC**)

- Erfassen, Begreifen, Verschlimmerung ausschließen

Rechtsverbindlichkeit

Verpflichtung: Jedes Jahr ein Emissionsinventar für Treibhausgase nach international einheitlichen Vorgaben zu erstellen und zu berichten!

- Rechtlich verbindliche Minderungsziele, Politiken, Transferleistungen
 - ➔ Diverse EU-Entscheidungen (z.B. 529/2013; 841/2018; 839/2023)
 - ➔ Pariser Abkommen (2020)
 - ➔ Klimaschutzgesetz (2021;
 -
 -
 -

Wissenschaftliche Bestandsaufnahme der Emissionssituation von Treibhausgasen (THG) und Luftschadstoffen

- **Qualifizierung und Quantifizierung von Quellen und Senken für THG und Luftschadstoffe**
 - Identifikation der Verursacher und kritischer Regionen
 - Ermittlung und Untersuchung zugrunde liegender Prozesse
- **Dokumentation der Emissionssituation in der Zeit**
 - Überprüfung der Wirksamkeit von Klimaschutz- und Luftreinhaltemaßnahmen
 - Überprüfung eingegangener Reduktionsverpflichtungen

Richtlinien

- **Entscheidungen der „Conference of the Parties“ (COP)**
- **2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories**
- **2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**
- **2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands**
- **2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance arising from the Kyoto Protocol**
- **2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**
- **EU Directive 2018/1990 („Governance Directive“) und 2018/841 („LULUCF Directive“) geändert durch Regulation (EU) 2023/839**

Richtlinien

- Entscheidungen der „Conference of the Parties“ (COP)
- 2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories
- 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- 2013 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories
Einhaltung wird überprüft durch Reviews!
- 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance arising from the Kyoto Protocol
- 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- EU Directive 2018/1990 („Governance Directive“) und 2018/841 („LULUCF Directive“) geändert durch Regulation (EU) 2023/839

TACCC - Prinzipien

- **Transparenz** (T**ransparency**)
- **Genauigkeit** (**A**ccuracy)
- **Vollständigkeit** (**C**ompleteness)
- **Vergleichbarkeit** (**C**omparability)
- **Widerspruchsfreiheit** (**C**onsistency)

➔ **Adäquate und optimale Ressourcennutzung**



National Inventory Submission (**Version** der Daten)

Das Inventar erfasst

- **EU und UNFCCC:** Alle THG-Emissionen von 1990 bis zwei Jahre vor dem Jahr der **Submission** (n - 2)
 - **Bundesregierung:** Eine vorläufige Schätzung aller THG-Emissionen von 1990 bis ein Jahr vor dem Jahr der **Submission** (n - 1) (**Vorjahresschätzung** gemäß **KSG**)
- ➔ alle Zeitreihen werden dazu komplett neu berechnet, zur Wahrung der Konsistenz bei methodischen Änderungen (**Vorgabe: Ständige Verbesserung**)

Bei Bezugnahme auf bzw. Anfrage nach Inventardaten muss immer der konkrete Submissionsbezug angegeben werden!

Submissionen

EU: 15. Januar (Resubmission möglich bis 15. März)

Bundesregierung: 15. März (Vorjahresschätzung nach KSG)

UNFCCC: 15. April (Sekretariat Klimarahmenkonvention)

Nationaler Inventarbericht und CRF-Tabellen

<https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2023>

CLIMATE CHANGE National Inventory Report, Germany – 2023

**Submission under the
United Nations Framework Convention
on Climate Change
2023**

**National Inventory Report
for the German Greenhouse Gas Inventory
1990 – 2021
German Environment Agency**

**UNFCCC Submission 15.04.2023
(GWP pursuant to IPCC AR5)**

14/04/2023

Name	Typ	Komprimierte Größe
DEU_2023_1990_14042023_172459.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	692 KB
DEU_2023_1991_14042023_172620.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	554 KB
DEU_2023_1992_14042023_172740.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	557 KB
DEU_2023_1993_14042023_172900.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	561 KB
DEU_2023_1994_14042023_173020.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	562 KB
DEU_2023_1995_14042023_173141.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	567 KB
DEU_2023_1996_14042023_173302.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	570 KB
DEU_2023_1997_14042023_173422.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	572 KB
DEU_2023_1998_14042023_173544.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	575 KB
DEU_2023_1999_14042023_173704.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	578 KB
DEU_2023_2000_14042023_173826.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	580 KB
DEU_2023_2001_14042023_173946.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	584 KB
DEU_2023_2002_14042023_174107.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	587 KB
DEU_2023_2003_14042023_174228.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	590 KB
DEU_2023_2004_14042023_174349.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	593 KB
DEU_2023_2005_14042023_174510.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	596 KB
DEU_2023_2006_14042023_174632.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	605 KB
DEU_2023_2007_14042023_174753.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	607 KB
DEU_2023_2008_14042023_174915.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	610 KB
DEU_2023_2009_14042023_175039.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	613 KB
DEU_2023_2010_14042023_175201.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	614 KB
DEU_2023_2011_14042023_175322.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	619 KB
DEU_2023_2012_14042023_175444.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	622 KB
DEU_2023_2013_14042023_175605.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	766 KB
DEU_2023_2014_14042023_175727.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	769 KB
DEU_2023_2015_14042023_175849.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	771 KB
DEU_2023_2016_14042023_180012.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	776 KB
DEU_2023_2017_14042023_180134.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	778 KB
DEU_2023_2018_14042023_180257.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	781 KB
DEU_2023_2019_14042023_180420.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	784 KB
DEU_2023_2020_14042023_180542.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	786 KB
DEU_2023_2021_14042023_180705.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	785 KB






Nationaler Inventarbericht und CRF-Tabellen

<https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2023>

Daten für Bundesländer:

- jährlich an Arbeitskreis „Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder“
- auf Anfrage

1990-2021
German Environment Agency

 DEU_2023_2004_14042023_174349.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	593 KB
 DEU_2023_2005_14042023_174510.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	596 KB
 DEU_2023_2006_14042023_174632.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	605 KB
 DEU_2023_2007_14042023_174753.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	607 KB
 DEU_2023_2008_14042023_174915.xlsx	Microsoft Excel-Arbeitsblatt	610 KB

Künftig (voraussichtlich 2024/2025):

- Download über die Webseite der AG Emissionsinventare des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz

Treibhausgase

- Kohlenstoffdioxid (CO₂)
- Methan (CH₄)
- Distickstoffoxid (N₂O)
- Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW)
- Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)
- Schwefelhexafluorid (SF₆)
- Stickstofftrifluorid (NF₃)

Indirekte Treibhausgase

- Schwefeldioxid (SO₂)
- Stickstoffoxide (NO_x)
- Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC)
- Kohlenmonoxid (CO)

CRF Sektoren

1. Energy

2. Industrial processes and product use

3. Agriculture

4. Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)

5. Waste and wastewater

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO ₂ ⁽¹⁾	CH ₄	N ₂ O	Total
	CO ₂ equivalent (kt)			
Total (net emissions)⁽¹⁾	-13990,39	33667,78	30906,18	50583,58
1. Energy				
A. Fuel combustion (sectoral approach)				
1. Energy industries				
2. Manufacturing industries and construction				
3. Transport				
4. Other sectors				
5. Other				
B. Fugitive emissions from fuels				
1. Solid fuels				
2. Oil and natural gas				
C. CO ₂ transport and storage				
2. Industrial processes and product use				
A. Mineral industry				
B. Chemical industry				
C. Metal industry				
D. Non-energy products from fuels and solvent use				
E. Electronic Industry				
F. Product uses as ODS substitutes				
G. Other product manufacture and use				
H. Other				
3. Agriculture	2924,00	32802,96	30041,84	65768,80
A. Enteric fermentation		25337,48		25337,48
B. Manure management		6107,54	3126,82	9234,36
C. Rice cultivation			NO	NO
D. Agricultural soils			NA	26648,35
E. Prescribed burning of savannas			NO	NO
F. Field burning of agricultural residues			NO	NO
G. Liming	1939,18			1939,18
H. Urea application	768,75			768,75
I. Other carbon-containing fertilizers	216,07			216,07
J. Other	NA,NO	1357,94	266,68	1624,62
4. Land use, land-use change and forestry⁽¹⁾	-16914,38	864,82	864,35	-15185,21
A. Forest land	-57760,15	19,48	140,55	-57600,12
B. Cropland	14506,31	249,17	293,75	15049,24
C. Grassland	21935,06	507,28	104,35	22546,69
D. Wetlands	3968,72	43,77	22,56	4035,04
E. Settlements	3472,35	45,13	103,61	3621,09
F. Other land	NO	NO	NO	NO
G. Harvested wood products	-3036,67			-3036,67
H. Other	NO,IE	NO,IE	99,23	99,23
5. Waste				
A. Solid waste disposal				
B. Biological treatment of solid waste				
C. Incineration and open burning of waste				
D. Waste water treatment and discharge				
E. Other				
6. Other (as specified in summary LA)				

LULUCF – Was muss berichtet werden?

- ➔ Anthropogen verursachte Emissionen der Treibhausgase **CO₂**, **N₂O** und **CH₄** infolge von
 - Landnutzung (**LU**)
 - Landnutzungsänderung (**LUC**)
 - Forstwirtschaft (**F**)
 - sowie **CO₂-Emissionen** aus Holzprodukten (**HWP**)

LULUCF – Berichts-/Landnutzungskategorien

4.A Wald	
4.B Ackerland	<i>Annuelle Kulturen</i> <i>Hopfen</i> <i>Wein</i> <i>Obst</i> <i>Baumschulen</i> <i>Weihnachtsbaumkulturen</i> <i>Kurzumtriebsplantagen</i>
4.C Grünland	<i>Grünland im engeren Sinn</i> <i>Feldgehölze</i> <i>Hecken</i>
4.D Feuchtgebiete	<i>Terrestrische Feuchtgebiete</i> <i>Torfabbauflächen und -nutzung</i> <i>Natürliche Gewässer</i> <i>Künstliche fließende Gewässer</i> <i>Künstliche stehende Gewässer</i> <i>Künstliche Schifffahrtsgewässer</i>
4.E Siedlungen	<i>Gebäude und Freiflächen</i> <i>Straßen</i> <i>Bahnkörper</i>
4.F Sonstiges Land	
4.G Holzprodukte	

Landwirtschaftsfläche

Nur CO₂ und CH₄; Lachgasemissionen werden überwiegend der Landwirtschaft zugeordnet!

Pools und Quellen

- **Lebende Biomasse**
 - oberirdisch
 - unterirdisch
- **Tote organische Substanz**
 - Totholz
 - Streu
- **Böden**
 - Mineralböden
 - Organische Böden
- **Gewässerkörper**
- **Holzprodukte**
- **Wildfeuer**
 - Waldbrände
 - Moorbrände

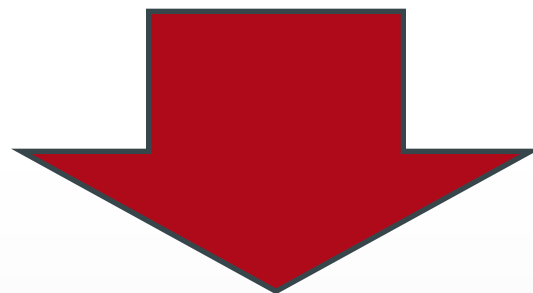
LULUCF – Besonderheiten des Inventars

- **Landnutzungskategorien** sind unter- und ineinander **überführbar**
- Pools können als **Quellen** (positive Emissionen) und **Senken** (negative Emissionen) für Treibhausgase wirken
 - Bei der Berechnung werden alle Emissionen erfasst, berichtet werden saldierte Werte
 - Auswirkungen einzelner Maßnahmen können nachgewiesen werden
- Es besteht ein **Raumbezug**; dieser muss in jeder Hinsicht explizit nachweisbar und verfolgbar sein

Inventarerstellung ist sehr ressourcenintensiv, komplex und aufwändig!



- Erfassung und Bilanzierung des Kohlenstoff- und Stickstoffvorrats/-haushalts (in Teilen) der Biogeosphäre Deutschlands in Abhängigkeit vom Einfluss des Menschen

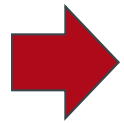


Unterschied zwischen
anthropogen und **natürlich** bedingten THG- Emissionen

Anthropogene oder natürliche Emissionen?

IPCC Guidelines (“Managed land proxy”):

For the AFOLU Sector, anthropogenic greenhouse gas emissions and removals by sinks are defined as all those occurring on ‘**managed land**’. Managed land is land where **human interventions** and **practices** have been applied to perform production, ecological or social functions.



(Nahezu) die **gesamte Landfläche** Deutschlands ist “**managed**”



Alle klimarelevanten Emissionen werden **flächendeckend** berichtet!

Ausnahmen:

- Flächen der Landnutzungskategorie “Sonstiges Land”
- THG-Emissionen “natürlicher” Gewässer
- Der jährliche CO₂-Kreislauf (Photosynthese annueller Pflanzen und Respiration) wird nicht berichtet

Ars magica – die Emissionsberechnung

$$AD \cdot EF = \text{Emission}$$

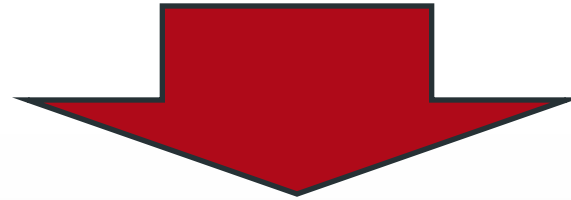
Aktivitätsdaten (AD): Beschreiben die Emissionsquelle quantitativ

Emissionsfaktoren (EF): Emission je Einheit der Emissionsquelle

Das LULUCF-Inventar – Wie wird gerechnet?




Das **LULUCF-Inventar** wird für jedes **Bundesland** separat berechnet, außer für




- HWP
- Torfprodukte
- Fischteiche






Die Summe der Ergebnisse der Bundesländer ergibt das **LULUCF-Inventar** für die **Bundesrepublik Deutschland**



Das LULUCF-Modell

**LULUCFmod** 
Project ID: 67 

  Star 0  Forks 0

80 Commits  5 Branches  0 Tags  16.9 MiB Project Storage

New implementation of the LULUCF model with R

 Merge branch 'master' of git-int.thuenen.de:fuss/LULUCFmod
Roland Fuß authored 2 months ago dd8b7d71 

master LULUCFmod / + History Find file Edit ↓ Clone

README LICENSE CHANGELOG Auto DevOps enabled Add CONTRIBUTING Add Kubernetes cluster Add Wiki Configure Integrations

Name	Last commit	Last update
R	set3, wet6	3 months ago
man	R cmd check	6 months ago
src	Delete rcpp_luc_annluc.o	3 months ago
.Rbuildignore	Further package setup (incl. roxygen2), added function ...	2 years ago
.gitignore	add .o and .so files to .gitignore	3 months ago
DESCRIPTION	new R version, rebuild package	3 months ago
LICENSE	R cmd check	6 months ago
LULUCFmod.Rproj	Further package setup (incl. roxygen2), added function ...	2 years ago
NAMESPACE	data.table import after loop over states, parallelized	7 months ago
NEWS.md	update NEWS	2 months ago
README.md	data.table import after loop over states, parallelized	7 months ago

Die LULUCF-Datenbank

pgAdmin File Object Tools Help roland.fuss@thuenen.de (internal)

Object Explorer

- thg21ttt_09092020_sub
- thg22
- thg22ttt_02122021_sub
- thg22tttproj_fp
- thg23
- thg23ttt
- thg24
- thg24p
- thg24ttt
 - Aggregates
 - Collations
 - Domains
 - FTS Configurations
 - FTS Dictionaries
 - FTS Parsers
 - FTS Templates
 - Foreign Tables
 - Functions
 - Materialized Views
 - Operators
 - Procedures
 - Sequences
 - Tables (18)
 - p100_lu_matrix_em_01
 - p100_lu_matrix_em_02
 - p100_lu_matrix_em_03
 - p100_lu_matrix_em_04
 - p100_lu_matrix_em_05
 - p100_lu_matrix_em_06
 - p100_lu_matrix_em_07
 - p100_lu_matrix_em_08
 - p100_lu_matrix_em_09

thg24ttt.p100_lu_matrix_em_agg/gis/fuss@fuss@olifant

Query

```
1 SELECT * FROM thg24ttt.p100_lu_matrix_em_agg
2 LIMIT 100
3
```

Data Output

	humooarei integer	year integer	annluc text	luc text	annluc1 text	annluc2 text	luc1 text	luc2 text	fedstate integer	statename text	area integer
1	1	2022	wet3_wet3	wet3_wet3	wet3	wet3	wet3	wet3	99	Deutschland	9116
2	1	1985	forl_wet1	forl_wet1	forl	wet1	forl	wet1	1	sh	1
3	0	1987	gra1_croo	gra1_croo	gra1	croo	gra1	croo	1	sh	1
4	0	2008	set3_set3	set3_set3	set3	set3	set3	set3	1	sh	1099
5	0	2011	set3_set3	set3_set3	set3	set3	set3	set3	1	sh	1099
6	0	2018	wet5_wet5	wet5_wet5	wet5	wet5	wet5	wet5	1	sh	3281
7	1	1976	forl_forl	wet1_forl	forl	forl	wet1	forl	13	mv	2
8	1	1972	gra1_gra1	othl_gra1	gra1	gra1	othl	gra1	1	sh	1
9	1	1974	wet1_forl	wet1_forl	wet1	forl	wet1	forl	1	sh	3
10	1	1976	gra2_forl	gra2_forl	gra2	forl	gra2	forl	1	sh	1
11	1	1989	cro1_gra1	cro1_gra1	cro1	gra1	cro1	gra1	1	sh	65
12	1	1991	wet2_wet2	wet2_wet2	wet2	wet2	wet2	wet2	1	sh	1837
13	1	2004	wet2_wet2	wet2_wet2	wet2	wet2	wet2	wet2	1	sh	1837

Total rows: 100 of 100 Query complete 00:00:00.150 Ln 1, Col 1

Grundsatz

Die georeferenzierte flächendeckende Erfassung und Quantifizierung der Aktivitätsdaten ist die Basis eines jeden Inventars

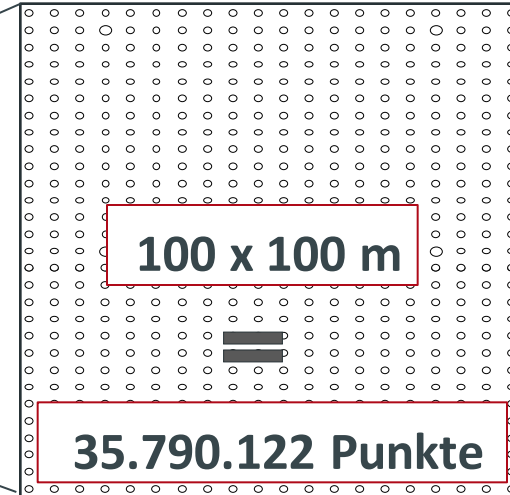
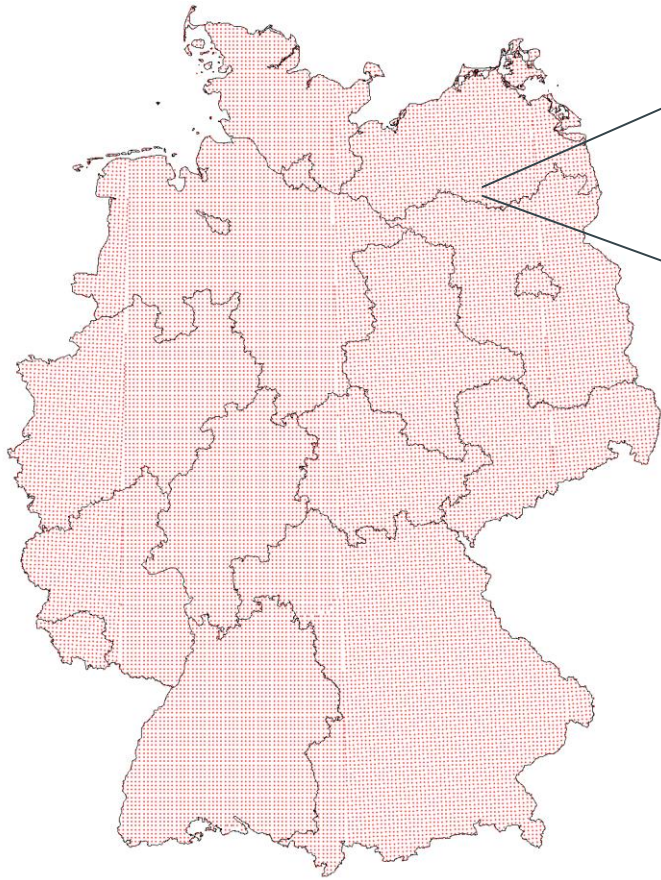
- Nachweis von Landnutzung und Landnutzungsänderung
 - Ermitteln von Flächen unterschiedlicher Landbedeckung
 - Ermitteln von Flächen unterschiedlicher Landnutzung
 - Ermitteln von Änderungen und Übergängen



Erstellen einer **Landnutzungsmatrix (LUM)**

Aktivitätsdaten: Ermittlung der Landnutzung(sänderungen)

Rasterbasiertes Informationssystem



Datenquellen für Landnutzung:

- **ATKIS¹** Digitales Landschaftsmodell (Basis-DLM)
- **CORINE²** Land Cover (vor 2000)

¹Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

²Coordination of Information on the Environment

Landnutzungsmatrix (mit Übergangszeiten)

Initial\Final	Land-use matrix for 2020: Areas [ha]																Σ reductions	Σ additions - Σ reductions
	Forest Land	Cropland ^{annual}	Hops	Vineyards	Orchards	Tree nurseries	Christmas tree plantations	Short-rotation plantations	Grassland (in the strict sense)	Woody Grassland	Terrestrial Wetlands	Waters	Peat extraction	Settlements	Other Land			
Forest Land	10,821,924	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,321	7,838	64	95,828	0	114,051	82,332	
Cropland ^{annual}	1,061	11,006,628	4,683	3,070	12,291	7,380	4,535	1,116	1,485,685	55,734	1,306	13,773	434	514,899	0	2,105,967	-777,373	
Hops	95	2,956	15,047	0	113	0	0	3	243	0	0	2	0	106	0	3,518	-1,736	
Vineyards	186	3,240	2	107,339	215	26	4	2	4,815	3,249	0	16	0	2,297	0	14,052	-8,012	
Orchards	1,208	31,933	128	491	54,769	239	223	92	16,587	1,670	2	103	0	4,816	0	57,492	-38,504	
Tree nurseries	0	758	0	0	54	13,931	0	473	225	62	0	2	0	137	0	1,711	7,319	
Christmas tree plantations	1,808	8,138	8	13	605	0	7,107	0	1,408	299	0	3	0	788	0	13,070	647	
Short-rotation plantations	1,535	3,544	7	19	936	0	0	0	1,714	389	3	11	38	878	0	9,074	-1,708	
Grassland (in the strict sense)	48,620	1,158,273	376	1,607	3,951	952	3,287	274	4,459,904	175,445	23,683	30,987	2,003	410,188	0	1,859,646	10,324	
Woody Grassland	113,190	54,130	36	611	461	0	5,565	5,381	182,900	164,368	2,068	2,960	31	42,093	0	409,426	-132,642	
Terrestrial Wetlands	6,784	1,051	0	1	5	8	1	0	9,201	1,322	76,671	1,234	899	1,177	0	21,683	30,074	
Waters	7,225	2,866	1	1	14	3	1	0	18,070	2,609	1,027	490,599	16	6,936	0	38,769	66,347	
Peat extraction	51	1,864	0	0	0	0	0	0	937	59	3,422	395	14,045	167	0	6,895	-3,220	
Settlements	11,702	58,879	13	224	343	422	101	25	141,155	33,776	9,922	46,702	190	3,545,593	0	303,454	779,908	
Other Land	2,918	962	0	3	0	0	0	0	7,030	2,170	3	1,090	0	3,052	36,161	17,228	-17,228	
Σ additions	196,383	1,328,594	5,254	6,040	18,988	9,030	13,717	7,366	1,869,970	276,784	51,757	105,116	3,675	1,083,362	0			
Σ Land-use category	11,018,307	12,335,222	20,301	113,379	73,757	22,961	20,824	7,366	6,329,874	441,152	128,428	595,715	17,720	4,628,955	36,161			
Total area of Germany																	35,790,122	

Ein Fläche, die eine Landnutzungsänderung erfährt, wird (bis zu) 20 Jahre in der entsprechenden Übergangskategorie berichtet. Bei einer erneuten Landnutzungsänderung in dieser Zeit wird sie in der neuen Übergangskategorie berichtet. Nach 20 Jahren in einer Übergangskategorie wird sie in der Verbleibkategorie berichtet.

(Thünen-Institut, AG Emissionsinventare 2023)

Landnutzungsmatrix (mit Übergangszeiten)

Landnutzungsmatrix 2021 - Sachsen-Anhalt: Flächen [ha]																						
Initial\Final	Wald	Acker _{annuell}	Hopfen	Wein	Obst	Baum-schulen	Weihnachts-baum	KUP	Grünland i.e.S.	Gehölze	Hecken	Terrestrische Feuchtgebiete	Gewässer	Torfabbau	künstliche fließend	Gewässer stehend	Siedlungen	Straßen	Sonstiges Land	Σ Abnahme	Σ Zunahme	
Wald	464.123	0	0	0	0	0	0	0	5	6	1	29	0	0	0	0	4.416	0	0	4.457	9.738	
Acker _{annuell}	33	970.620	125	69	305	45	87	18	65.824	5.481	31	0	0	0	0	0	28.772	0	0	100.790	-27.570	
Hopfen	1	44	527	0	13	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	70	
Weinanbau	6	8	0	563	14	0	0	0	24	8	0	0	0	0	0	0	5	0	0	65	98	
Obstanbau	451	1.839	0	35	1.197	53	10	14	4.269	405	0	0	0	0	0	0	264	0	0	7.340	-6.923	
Baumschulen	32	0	0	0	0	80	0	2	4	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	57	
Weihnachts-baumkulturen	19	464	0	0	0	0	21	0	30	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	518	-386	
Kurzumtriebs-plantagen	0	124	0	0	7	0	0	0	32	9	0	0	0	0	0	0	4	0	0	176	-118	
Grünland i.e.S.	3.416	62.178	9	39	50	10	17	1	167.598	17.927	10	11	0	3	0	0	22.452	0	0	106.123	-11.186	
Gehölze	9.338	3.559	0	11	4	0	17	23	15.514	7.081	0	1	0	0	0	0	1.933	0	0	30.400	-2.083	
Hecken	0	19	0	0	0	0	0	0	4	1	433	0	0	0	0	0	0	0	0	24	18	
Terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	12	0	0	0	0	1	0	0	7	34	
Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.471	0	0	0	0	0	0	0	0	
Torfabbau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
künstliche fließende Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	905	0	0	0	0	0	0	
künstliche stehende Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6951	0	0	0	0	0	
Siedlungen	853	4.985	0	9	24	3	1	0	9.203	4.454	0	0	0	0	0	0	106.974	0	0	19.532	38.323	
Straßen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.209	0	0	0	
Sonstiges Land	46	0	0	0	0	0	0	0	17	5	0	0	0	0	0	0	7	0	19	75	-75	
Σ Zunahme	14.195	73.220	134	163	417	111	132	58	94.937	28.317	42	41	0	3	0	0	57.855	0	0			
Σ LUC	478.318	1.043.840	661	726	1.614	191	153	58	262.535	35.398	475	53	25.471	3	905	6.951	164.829	35.209	19			
Σ Sachsen-Anhalt	2.057.409																					

(Thünen-Institut, AG Emissionsinventare 2023)

Ermittlung der Aktivitätsdaten

Grundsatz

Die georeferenzierte flächendeckende Erfassung und Quantifizierung der Aktivitätsdaten ist die Basis eines jeden Inventars

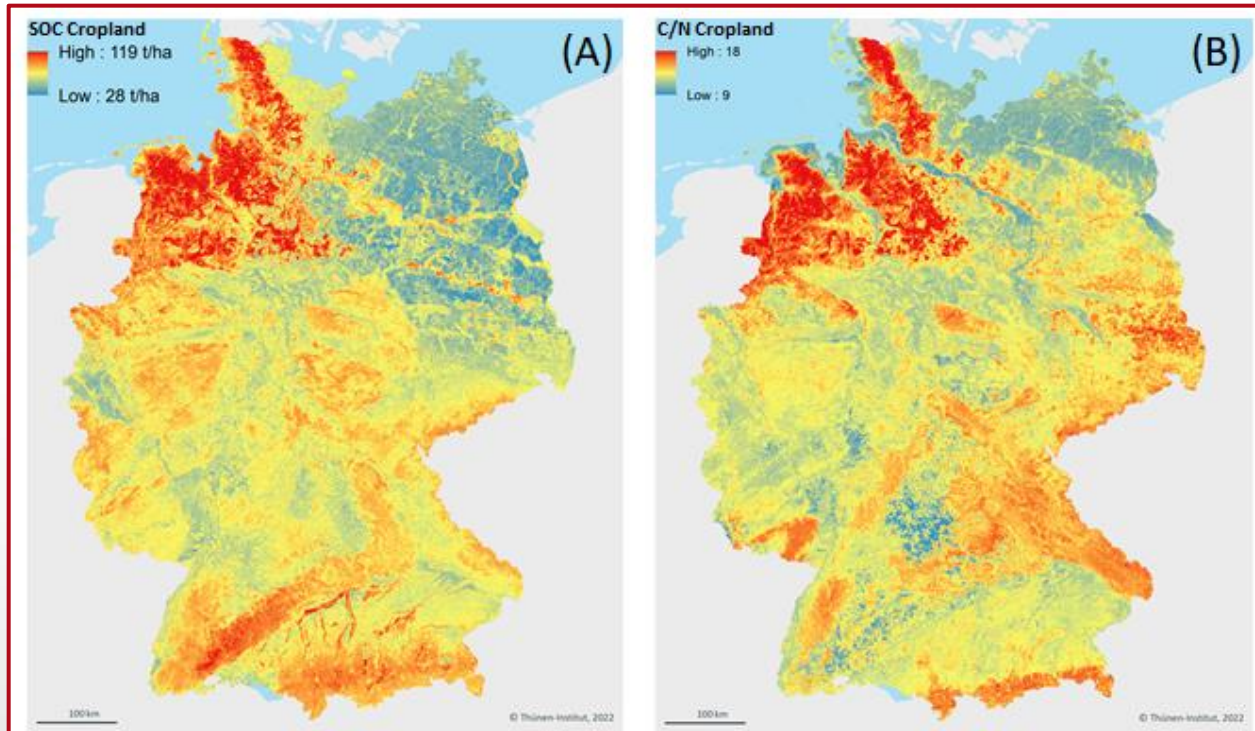
- **Nachweis von Landnutzung und Landnutzungsänderung**
 - Ermitteln von Flächen unterschiedlicher Landbedeckung
 - Ermitteln von Flächen unterschiedlicher Landnutzung
 - Ermitteln von Änderungen und Übergängen

- **Zuordnung der Geofachdaten und Bewirtschaftungsdaten**
 - Zuordnung der Standortfaktoren (z.B. Boden, Witterung, Vegetation...)
 - Ermitteln und räumliche Zuordnung der Bewirtschaftung

Emissionen aus Mineralböden infolge Landnutzungsänderung

- Entwicklung flächendeckender, dynamischer Karten der Bodenkohlenstoff- und -stickstoffvorräte sowie der C/N-Verhältnisse in Mineralböden Deutschlands in Abhängigkeit von deren Nutzung

➔ Abgeleitet aus den Bodenzustandserhebungen



➤ **Direkte Ermittlung der Emissionen**

- **Messung**
- **Prozessmodelle**

➤ **Indirekte Ermittlung der Emissionen**

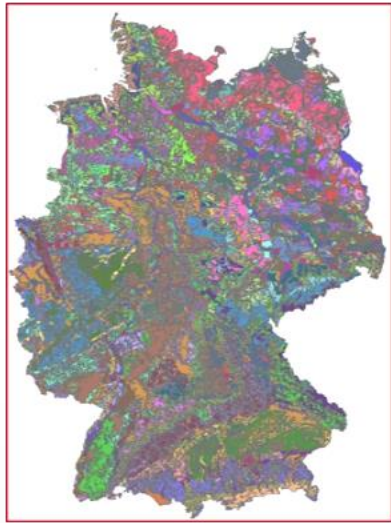
- **Bestimmung der Kohlenstoffvorratsänderung in den Pools**
- **Gain-Loss-Methode**
 - **Bilanz aller Input-/Output-Größen über definierte Zeitintervalle**
- **Stock-Change-Methode**
 - **Bestimmung des Kohlenstoffvorrats zu zwei Zeitpunkten**

Emissionen Mineralböden - Landnutzungsänderung

Übergangszeit 20 Jahre



$C_{\text{stock_LUC}_2}$



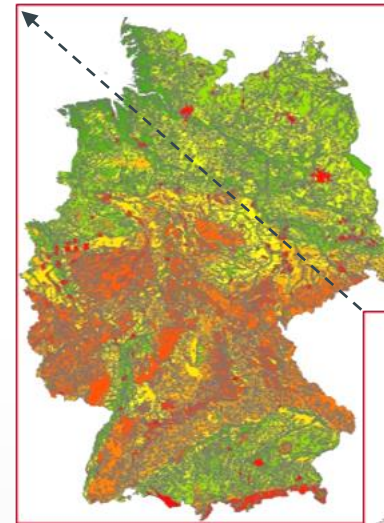
-

$C_{\text{stock_LUC}_1}$

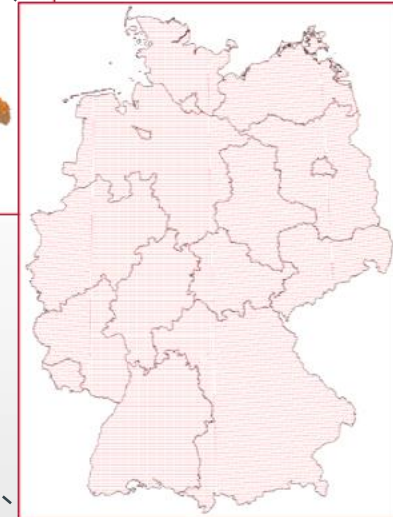


=

$\Delta C_{\text{stock_ax}} \bullet 44/12 = \text{Emission [t CO}_2\text{-Eq. 20 a}^{-1}\text{]}$

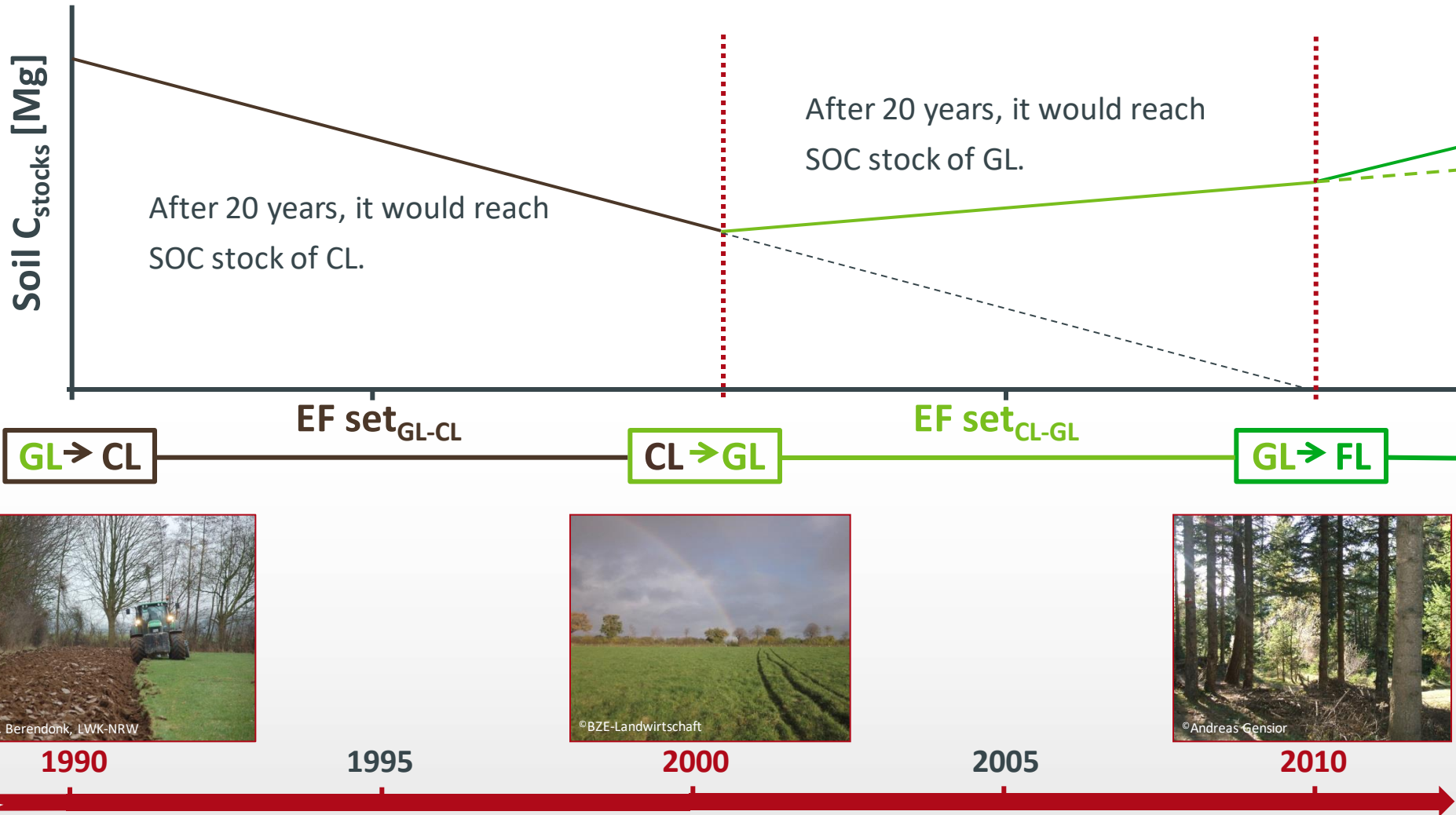


LULUCF-Grid

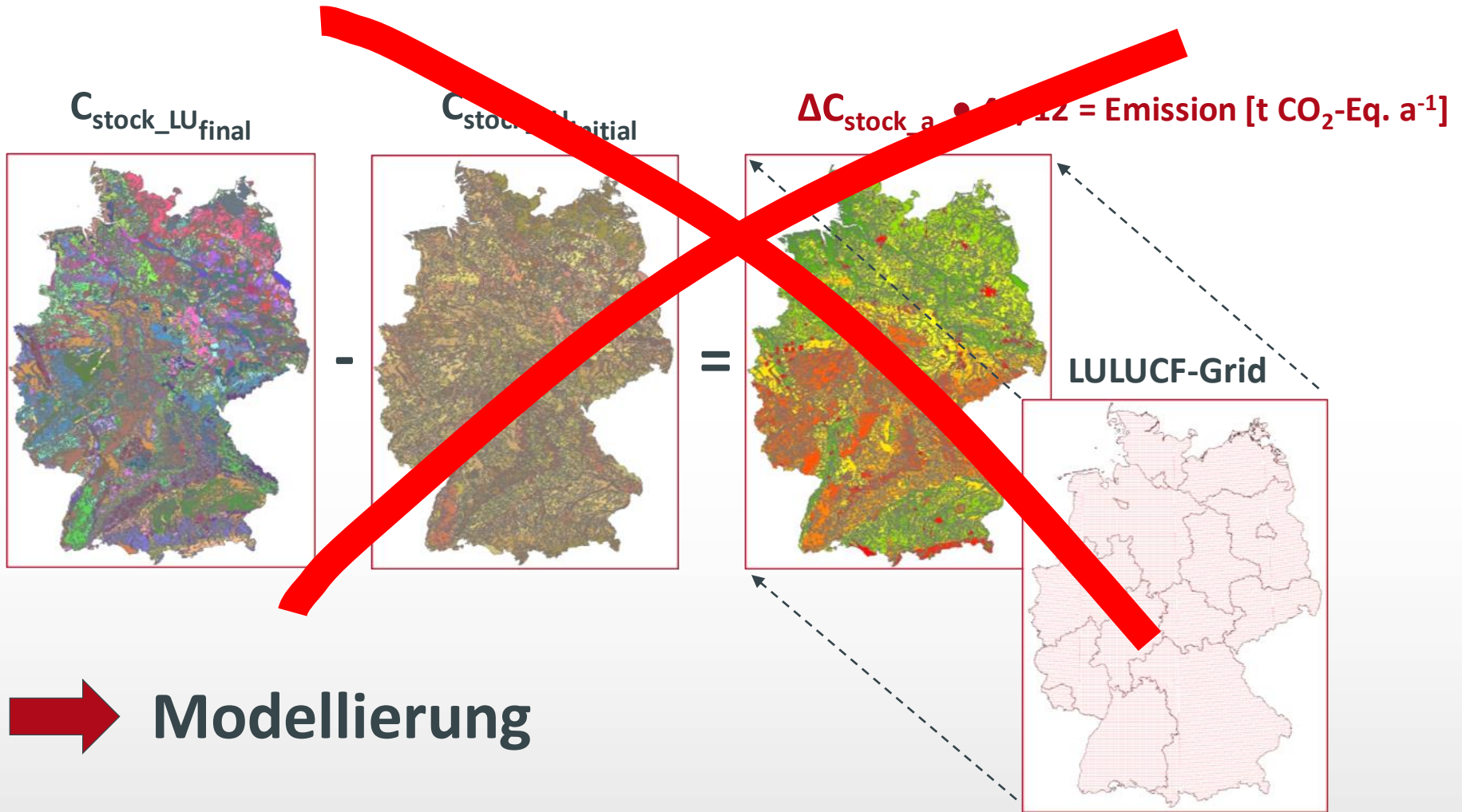


$$(C_{\text{stock_LUC}_2} - C_{\text{stock_LUC}_1}) / 20 = \Delta C_{\text{stock_ax}} [\text{t C a}^{-1}]$$

Emissionen aus Mineralböden infolge Landnutzungsänderung



Emissionen Mineralböden - Landnutzung



Emissionen aus Landnutzung (Mineralböden)

Wald

- Prozessmodell

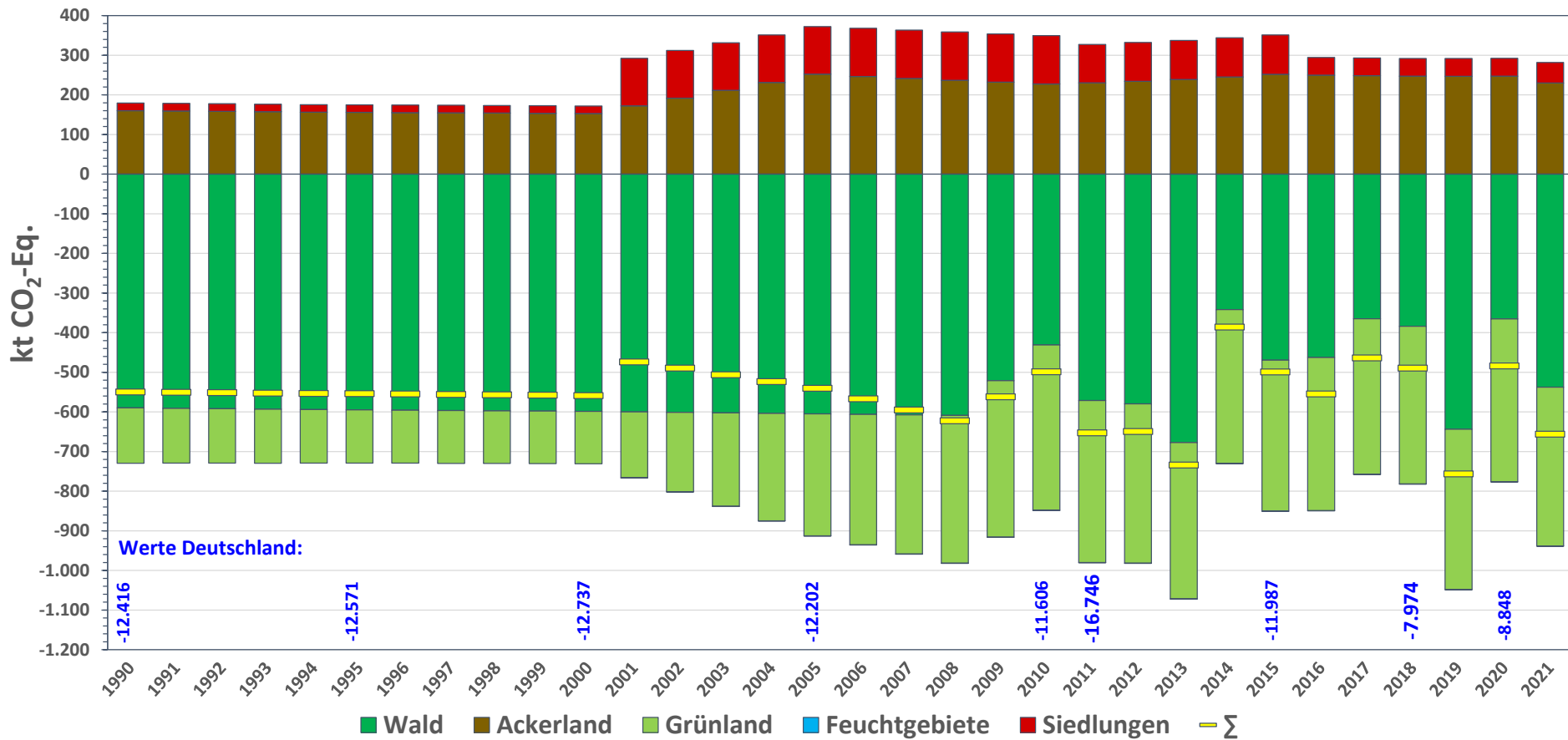
Acker- und Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen

- derzeit Annahme von Gleichgewicht (bei konstanter Landnutzung)
- Schrittweise Einführung der ΔC -Berechnung mit mathematischen Modellen für die Landnutzungskategorien
- Ziel für Acker- und Grünland: Submission 2026

➔ Bewirtschaftungsdaten werden als Input benötigt

Sachsen-Anhalt: Emissionen Mineralböden

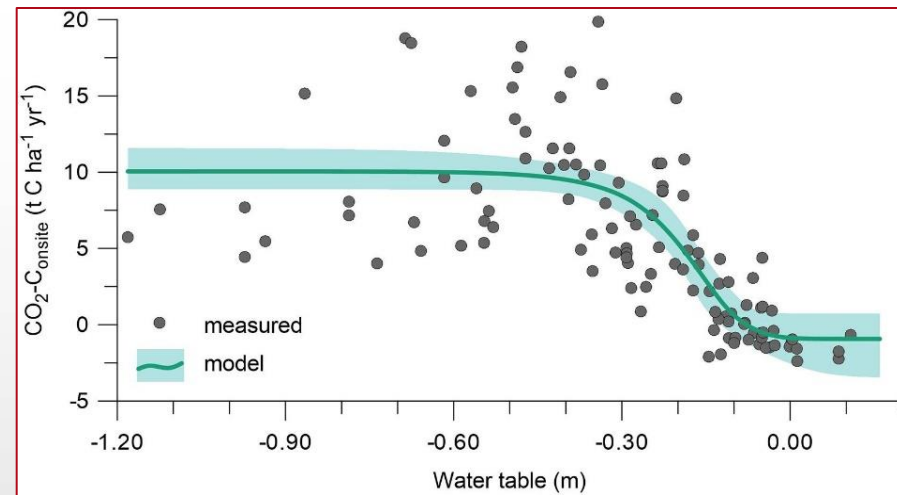
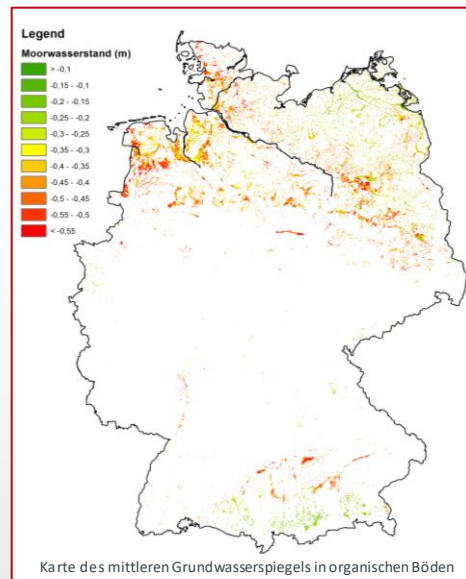
Sachsen-Anhalt: Emissionen Mineralböden



(Thünen-Institut, AG Emissionsinventare 2023)

Organische Böden - aktuell

- Karte der organischen Böden (Roskopf et al. 2015)
(DOI:10.1016/j.catena.2015.05.004)
- Modell der Grundwasserstände (Bechtold et al. 2014)
(DOI: 10.5194/hess-18-3319-2014)
- Emissionsmodelle (abh. vom Grundwasserstand) (Tiemeyer et al. 2020)
(DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105838)



Organische Böden - Emissionsfaktoren

Mittlere THG-Emissionen organischer Böden Deutschlands

CO₂

➤ EF _{Cropland}	33,7 Mg ha ⁻¹ a ⁻¹	(13,9 - 41,1)
➤ EF _{Grassland}	30,4 Mg ha ⁻¹ a ⁻¹	(5,1 - 40,3)
➤ EF _{rewetted}	-1,5 Mg ha ⁻¹ a ⁻¹	(-8,8 - 4,8)

CH₄ (GWP: 28)

➤ EF _{Cropland}	0,15 Mg CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹	(0,01 - 0,50)
➤ EF _{Grazingland}	0,31 Mg CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹	(0,02 - 2,42)
➤ EF _{rewetted}	7,81 Mg CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹	(3,92 - 19,6)

N₂O (GWP: 265)

➤ EF _{Cropland}	2,94 Mg CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹	(0,48 - 10,73)
➤ EF _{Grazingland}	1,22 Mg CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹	(0,08 - 5,88)
➤ EF _{rewetted}	0,03 Mg CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹	(-0,13 - 0,27)

(Tiemeyer et al. 2020)

Organische Böden - Zukunft

Umstellung auf

- „Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland“

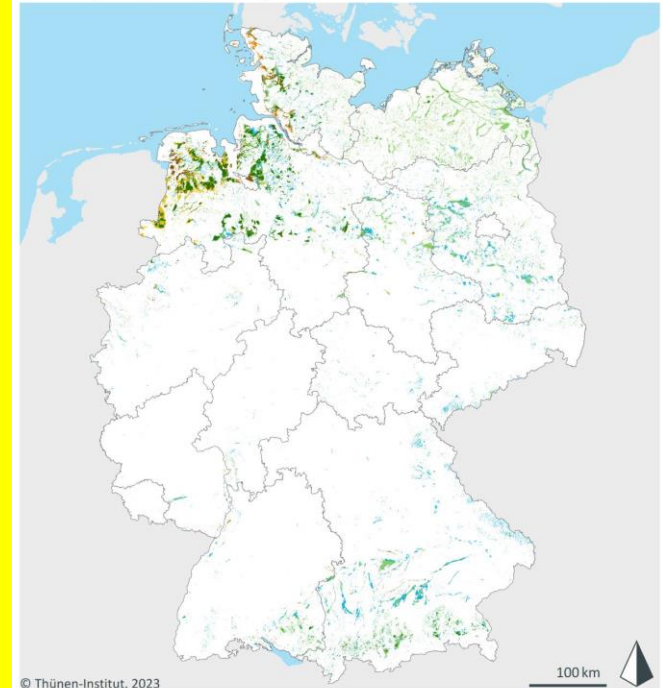
(Wittnebel et al. 2023)*

- überarbeitetes Grundwassermodell
erfolgt demnächst!

* https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_212.pdf

Daten: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00087123

Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland
Version 1.0, Stand Datenakquise: 12/2022



© Thünen-Institut, 2023

Moorbodenkategorien

Niedermoorboden	Moorfolgeboden	flach überdeckter Moorboden
Hochmoorboden	Tiefumbruchboden aus Moor	mächtig überdeckter Moorboden

Datenquellen:

Geobasis-DE / BHG (2022)
Bayerisches Landesamt für Umwelt (2021)
Bayerische Vermessungsverwaltung (2022)
Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (2022)
Umweltatlas Berlin / Moore - Moorgebiete (2016)
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (2022)
Geologischer Dienst für Bremen (2016)
Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft Hamburg (2016)
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2020)
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (2022)
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (2017)
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (2021)
Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (2019)
Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz Saarland (2001)
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2020, 2011)
Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (2021)
Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2014)
Landesamt für Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (2022)
ThüringerForst AGR, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha (2022)
Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (1996-1974)

Emissionen aus (Änderungen der) Biomasse

Waldbiomasse und Wachstum nach Aufforstung

- Bundeswaldinventur (BWI), Kohlenstoffinventuren
 - ➔ Interpolation zwischen Inventuren
- Holzeinschlagstatistik

BWI liefert nur nationale Mittelwerte!

- Sequestrierung in der Waldbiomasse hat systematische Fehler für Bundesländer
- Lösungsansatz: Fernerkundung?!

Emissionen aus (Änderungen der) Biomasse

Waldbiomasse und Wachstum nach Aufforstung

- Bundeswaldinventur (BWI), Kohlenstoffinventuren
 - ➔ Interpolation zwischen Inventuren
- Holzeinschlagstatistik

Biomasse von **Gras und annuellen Kulturen** (bei Landnutzungsänderung)

- Erntestatistiken

Biomasse holziger **mehnjähriger Pflanzen** außerhalb des Waldes

- Modellierung mit Wachstumskurven

Nach Landnutzungsänderung wird der gesamte Kohlenstoff sofort zu CO₂, außer bei Übergang von Gehölzgrünland zu Wald, wo 50 % der Biomasse erhalten bleiben. 50 % natürliche Sukzession

Emissionen aus Gewässern

Emission = Fläche * Defaultfaktor_{CH₄} * α_i (trophischer Anpassungsfaktor)

➤ **Aktivitätsdaten (AD):**

- **Weder zentral noch dezentral werden Gewässerflächen in Deutschland vollständig erfasst**
 - B-DLM erfasst flächenhafte Gewässer bisher fast ohne jede Differenzierung
 - Fließgewässer meist nur als lineare Struktur im B-DLM
- **Flächen zur Landgewinnung werden im B-DLM nicht ausgewiesen**

➤ **Emissionsfaktoren (EF):**

- **Es gibt keine landesspezifischen EF für THG-Emissionen aus Gewässern jedweder Art! Zu berichten sind derzeit verpflichtend CH₄ und CO₂ (wo möglich und nötig), N₂O (wenn überhaupt möglich)**

Emissionen aus Gewässern

Berichtet wird nur Methan nach Defaultmethode



- derzeit nur für **stehende** und **fließende künstliche Gewässer** auf (fast) niedrigstem Niveau
- **nicht für Küstenfeuchtgebiete/Landgewinnung**
 - Keine offiziellen Defaultfaktoren für die Kohlenstoffanreicherung bzw. DF für potentielle Methan- und Lachgasemissionen

Gewässer/Feuchtgebiete: Relevanz

Relevanz des Sachverhalts:

- Ergibt sich durch die absolute Höhe der Emissionen aus Binnengewässern:

$$\text{Methanemissionen}_{\text{wet4+wet5}} = 175,2 \text{ kt CH}_4 \text{ a}^{-1} \triangleq \mathbf{4.379,6 \text{ kt CO}_2\text{-Eq. a}^{-1}}$$

Emission entspricht fast der bisher berichteten Summe der Kategorie Feuchtgebiete:

$$\emptyset_{1990-2020} = \mathbf{4.696 \text{ kt CO}_2\text{-Eq. a}^{-1} (\pm 3 \%)}$$

obwohl

- die emittierende Fläche der künstlichen Gewässer unterschätzt werden dürfte
 - die CO₂-Emissionen aus der Teichwirtschaft nicht berücksichtigt sind
- Die potentielle Senkenfunktion durch Landgewinnung im Küstenbereich kann derzeit nicht nachgewiesen werden
 - diesbezügliche Maßnahmen zum Klimaschutz können nicht inventarisiert werden
 - die Emissionen aus dem Sektor Feuchtgebiete werden überschätzt

Nicht geolokalisierte Emissionen

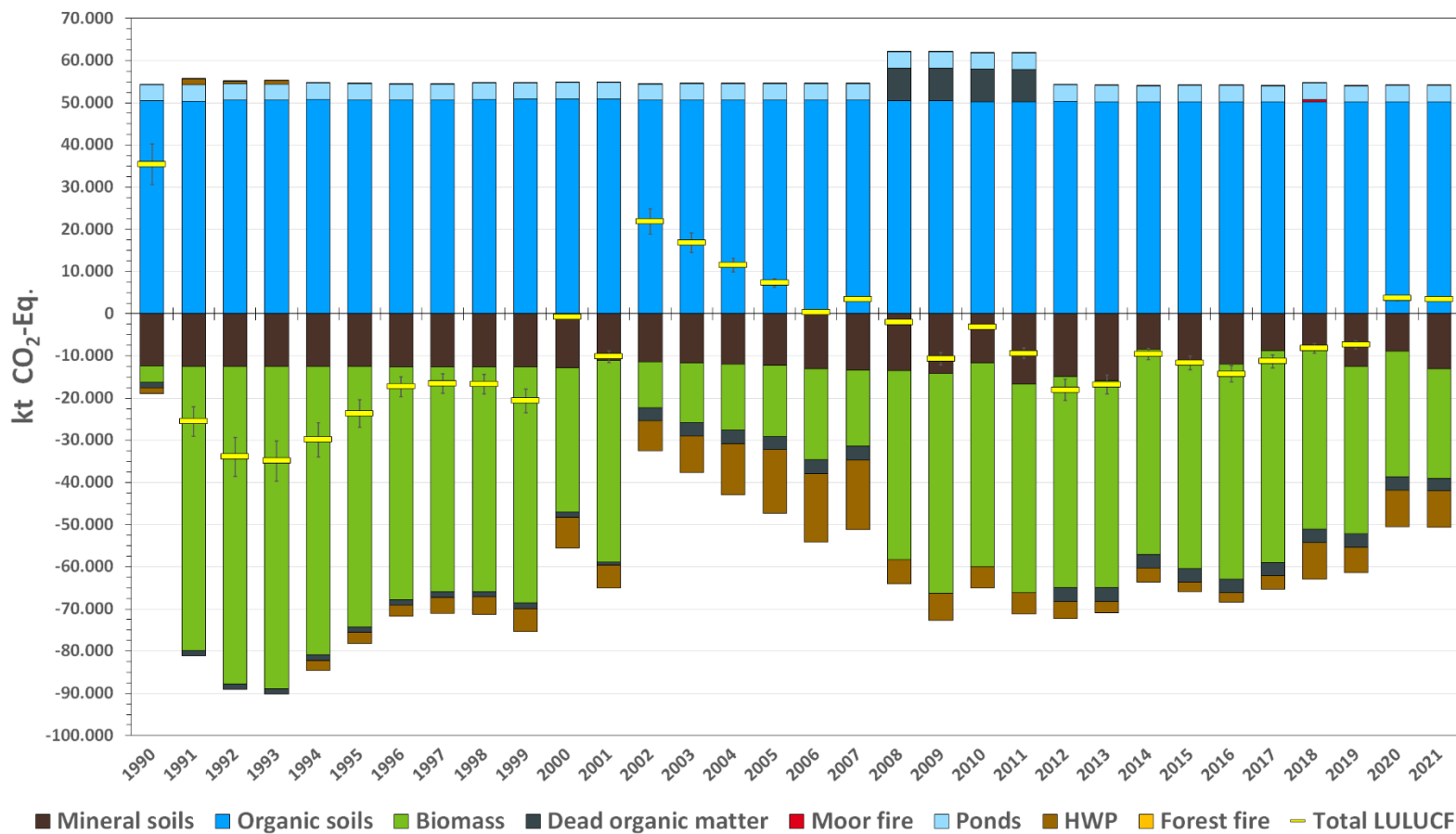
- Emissionen aus der Nutzung von Torf und Torfprodukten (Blumenerden, Gartenbau)
- Sequestrierung/Emissionen aus Änderungen des Holzproduktespeichers
- derzeit auch Emissionen aus Fischteichen



können nicht den Bundesländern zugeordnet werden

Submission 2023 - Deutschland

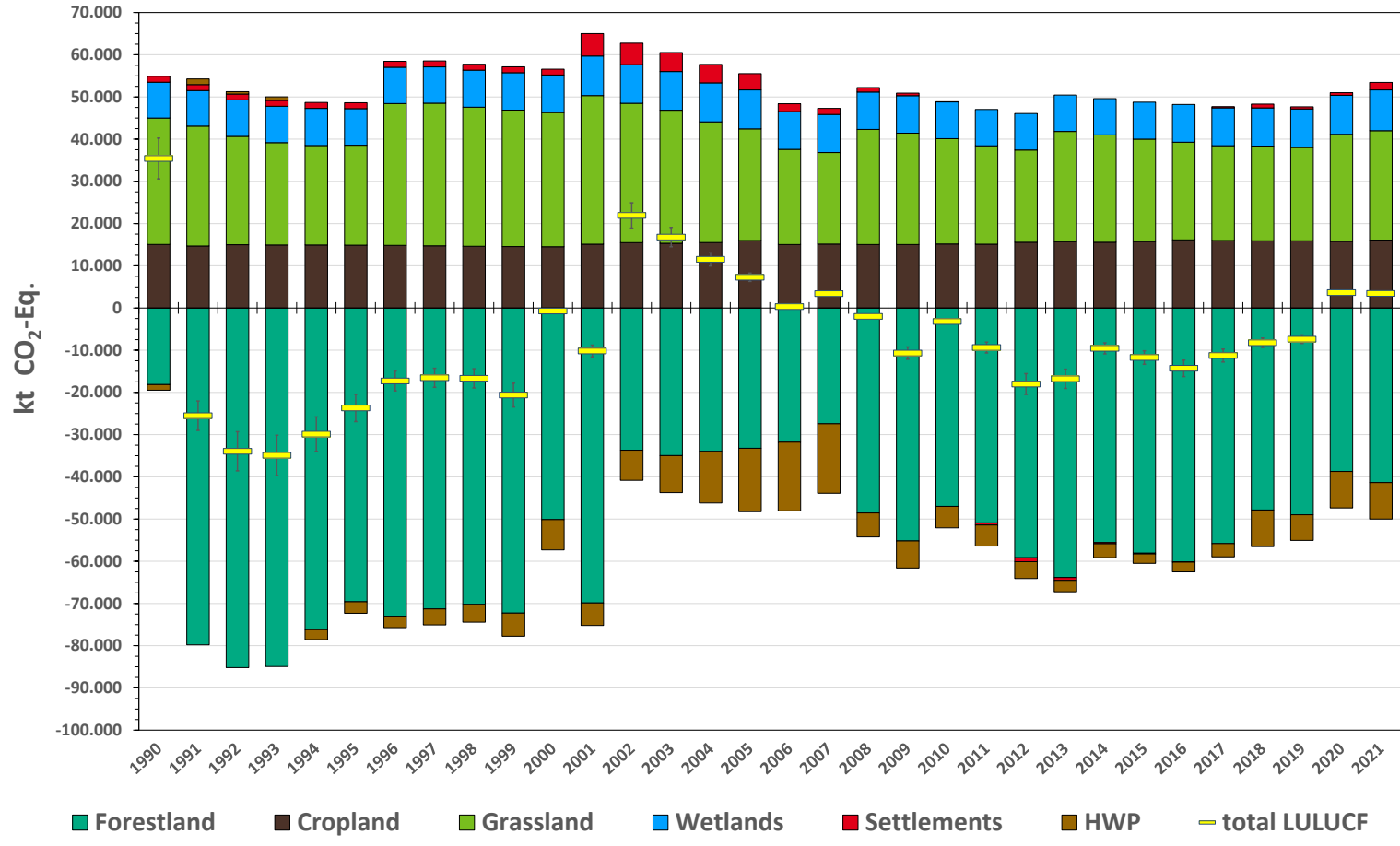
Emissions CRF-Sector 4: Time Series Pools



(Thünen-Institut, AG Emissionsinventare 2023)

Submission 2023 - Deutschland

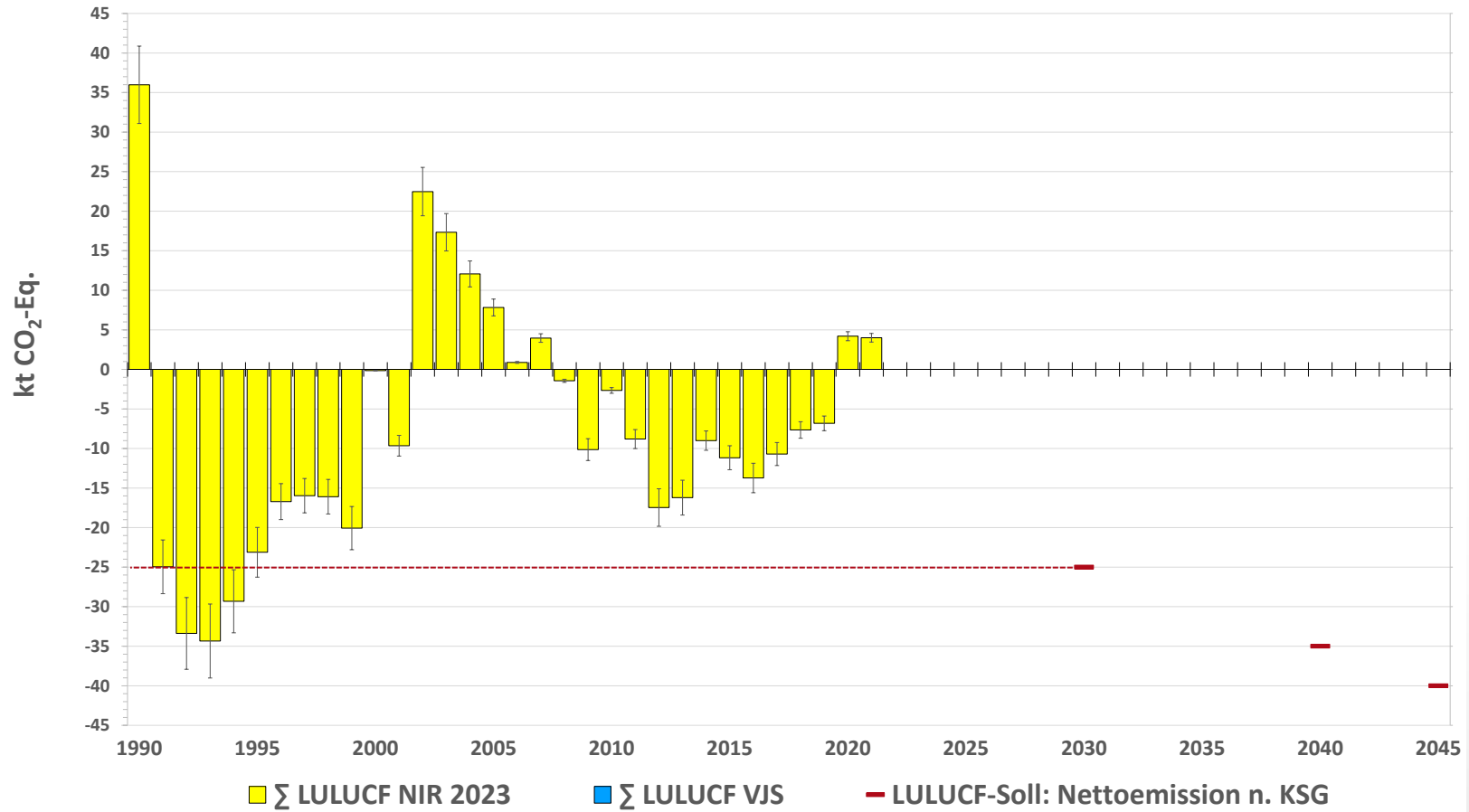
Emissions CRF-Sector 4: Time Series Land Use Categories



(Thünen-Institut, AG Emissionsinventare 2023)

Submission 2023 - Deutschland

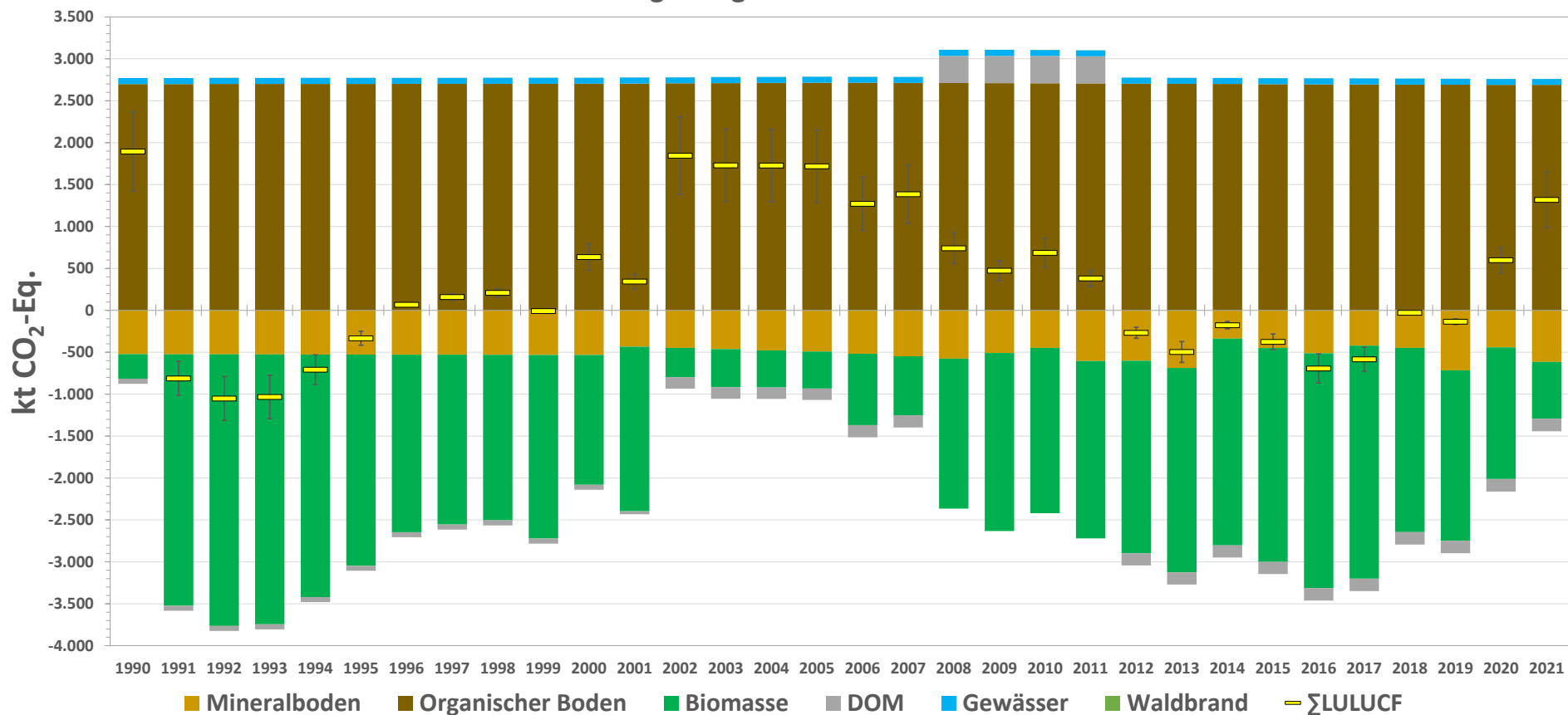
Klimaschutzgesetz: Schutzziele vs. aktuelle LULUCF-Nettoemissionen



(Thünen-Institut, AG Emissionsinventare 2023)

Submission 2023 – Sachsen-Anhalt

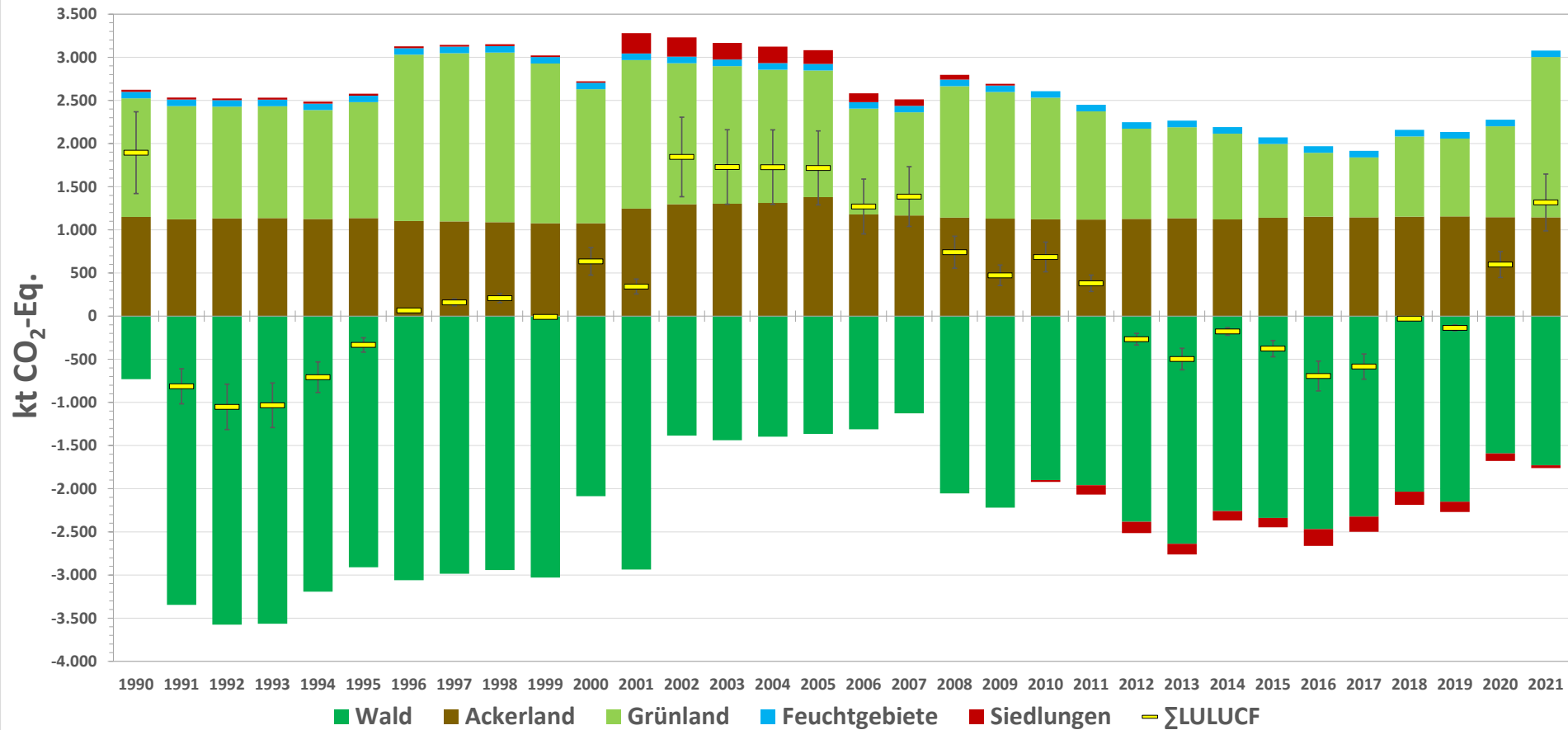
Emissionsinventar Sachsen-Anhalt n. Landnutzungskategorien



(Thünen-Institut, AG Emissionsinventare 2023)

Submission 2023 – Sachsen-Anhalt

Emissionsinventar Sachsen-Anhalt n. Landnutzungskategorien



(Thünen-Institut, AG Emissionsinventare 2023)

Wohin geht die Reise?

➔ Maßnahmen jedweder Art können nur angerechnet werden, wenn sie im Inventar georeferenziert verzeichnet werden können

Die **Güte** des **Inventars** steht und fällt

- mit dem **Dateninput**: Aktivitätsdaten (Fläche, Bewirtschaftung...) und Geofachdaten in hoher räumlicher und nutzungsspezifischer Auflösung
- mit validen, **landesspezifischen Emissionsfaktoren** (in jeder Form)

Ziel: Valide LULUCF-Inventare für Landkreise

Vielen Dank, für Ihre Aufmerksamkeit!

Note!

The devil is not only in the detail...

...also the various possibilities and the pure mass can kill you