



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft,  
Bildung und Forschung WBF

**Agroscope**

# Humusbilanzierung

Wissenschaftlicher Hintergrund der Humusbilanzen  
Erklärung der verschiedenen Methoden

**Hans-Rudolf Oberholzer**

24. März 2015



# Menge organischer Substanz

- 1 Hektar
- 25 cm Bodentiefe = 2500 m<sup>3</sup> Boden
- 1.4 g/cm<sup>3</sup> Bodendichte = 3500 Tonnen Boden
- 3% organische Bodensubstanz = **105 Tonnen Humus** Trockengewicht

**Tabelle 8. Bodenkundliche (chemisch-physikalische) und agronomische (v.a. Einfluss auf Stickstoffdynamik des Bodens) Beurteilung des Humusgehaltes des Bodens**  
 Der Humusgehalt des Bodens entspricht dem organisch gebundenen Kohlenstoff (C) multipliziert mit 1,725.

Bodenkundliche Beurteilung bezüglich Bodenart (chem.-phys.)		Agronomische Beurteilung (insbesondere hinsichtlich Stickstoffdynamik)			
Humusgehalt in %	Bezeichnung	Humusgehalt des Bodens (%)			Bezeichnung
		< 15 % Ton	15-30 % Ton	> 30 % Ton	
< 2	humusarm	< 1,2	< 1,8	< 2,5	tief / gering
2-5	schwach humos	1,2-3,0	1,8-4,0	2,5-6,0	ausreichend / normal
5-10	humos	3,0-7,0	4,0-8,0	6,0-10,0	erhöht
10-20	humusreich	7,0-20,0	8,0-20,0	10,0-20,0	stark erhöht
> 20	Humusboden	> 20,0	> 20,0	> 20,0	sehr hoch



# Humusgehalt

- Humus beeinflusst die meisten Funktionen des Bodens und ist deshalb eine zentrale Eigenschaft der Bodenqualität
- **Optimaler Humusgehalt** ermöglicht optimale landwirtschaftliche Erträge, ohne andere Bodenfunktionen übermässig zu beeinträchtigen.
- Eine Festlegung von standorttypischem optimalem Humusgehalt ist schwierig und weist grosse Streuung auf.
- **Humusbilanz** als «Ersatz» für eine absolute Beurteilung des Humusgehaltes (?)
  - → die Beurteilung der Bewirtschaftung im Hinblick auf die Erhaltung des Humusgehaltes ist wichtig

# Beurteilungsmodule der Ökobilanzierung Bodenfruchtbarkeit SALCA-BQ

Erosionsabschätzung → Gründigkeit

Verdichtungsabschätzung → Grobporen, Aggregatstabilität

Humusbilanz → organische Bodensubstanz

Richtwerverreichung → Schwermetalle, organische Schadstoffe

Wechselwirkungen → Regenwurmbiomasse

Wechselwirkungen → mikrobielle Biomasse

Wechselwirkungen → mikrobielle Aktivität



Station fédérale de recherches en production végétale  
de Changins

Directeur: André Stäubli

## La part du sol dans la production intégrée

### 1. Gestion de la matière organique et bilan humique

J.-A. NEYROUD, Station fédérale de recherches en production végétale de Changins, CH-1260 Nyon  
P. SUPCIK, Ecole suisse d'ingénieurs en agriculture, CH-3052 Zollikofen  
F. MAGNOLLAY, Service romand de vulgarisation agricole, CH-1000 Lausanne

#### Résumé

Une des composantes essentielles de la mise en place d'une agriculture durable, respectueuse du milieu environnant, est le maintien dans le sol d'un taux d'humus satisfaisant, capable d'assurer à celui-ci un fonctionnement chimique, physique et biologique irréprochable. En Suisse, la production intégrée poursuit ce but.

Une ancienne méthode française de calcul du bilan humique a été reprise et améliorée pour tenir compte de plusieurs facteurs modifiant le coefficient de minéralisation du carbone organique.

Testée sur quelques essais de longue durée, la méthode s'avère fiable dans des conditions moyennées, mais répond mal lorsque des apports importants de matières organiques produisent une intensification de la minéralisation, lorsque des pratiques de travail mécanique réduit du sol ralentissent la minéralisation et lorsque le taux d'humus initial du sol ne correspond pas à un taux stabilisé par de nombreuses années de pratiques culturales analogues.

Testée sur un réseau de parcelles pratiquant la production intégrée, la méthode s'avère fiable, sous réserve des remarques ci-dessus. Elle peut également être appliquée sur l'ensemble des terres assolées d'une exploitation dans une année donnée. Certaines précautions doivent néanmoins être prises dans ce dernier cas.

Le bilan humique permet de porter un jugement global sur la gestion de l'humus dans l'exploitation et de proposer des solutions dans les cas où il est déficitaire.

forment l'humus. Comme l'humus n'est pas totalement résistant à la dégradation, la quantité de carbone présente dans le sol résulte d'un équilibre entre la formation de nouveaux composés (humification) et leur dégradation (minéralisation). Les conditions climatiques et pédologiques orientent cet équilibre vers des taux d'humus caractéristiques de chaque type de sol.

Le milieu cultivé se distingue du milieu naturel par le fait que des récoltes sont exportées, que des engrais organiques et minéraux sont apportés, et que le travail du sol favorise la minéralisation, grâce en particulier à un meilleur accès de l'oxygène à la couche travaillée. Il est donc tout à fait logique qu'un sol cultivé contienne moins de carbone organique que son homologue non cultivé.

#### Principe du bilan humique

Le bilan humique représente la différence entre les gains annuels en hu-



# Was ist eine Humusbilanz

- Eine Humusbilanz ist eine einfache Methode zur Abklärung ob die Bewirtschaftung zur Erhaltung der Bodenqualität (Bodenfruchtbarkeit) den Humusabbau ausreichend mit Zufuhr von organischer Substanz ausgleicht

- Einfach → Inputdaten,
- Ziel ist Bodenqualität, r
- Bilanz, nicht tägliche Ver
- Beispiele: Humusbilanz



## Beispiel: Berechnung der Humusbilanz auf einem viehlosen Betrieb mit 5-jähriger Fruchtfolge

Fruchtfolge: Weizen – Gerste – Raps – Weizen - Körnermais			
<b>Verluste:</b>	940 kg Humus / ha u. Jahr		<b>4700</b>
<b>Gewinne:</b>	- Weizen (Wurzeln + Stoppeln)	350	
	- Gerste (Wurzeln + Stoppeln)	350	
	- Raps (Gesamtpflanze)	1100	
	- Weizen (Wurzeln + Stoppeln)	350	
	- Körnermais (Gesamtpflanze)	900	
		<b>3050</b>	
<b>Bilanz: Defizit, das ausgeglichen werden muss:</b>			<b>- 1650</b>
<b>Ausgleich durch</b>	Stroh (2x) auf Feld belassen	1100	
	Gründüngung vor Mais	400	
<b>Zusätzlicher Gewinn</b>			<b>+ 1500</b>
➔			<b>+/- Ausgegliche Bilanz</b>



# Was ist ein C-Simulationsmodell

- C-Simulationen berechnen basierend auf Boden, Bewirtschaftung und Klima die C-Umsetzungen im Boden um die Entwicklung des C-Gehaltes (der C-Menge) im Boden voraussagen zu können.
- Komplex(er) → Inputdaten, Parameter
- Ziel ist Veränderung der C-Menge im Boden (bzw. C-Gehalt)
- tägliche (monatliche) Veränderung durch Prozesse
- → CCB und Simeos-AMG sind eigentlich eher Modelle



# Prinzip Humusbilanzmethode Neyroud (SALCA)

- Humusverlust durch Mineralisation
  - Basis ist der wünschenswerte minimale Humusgehalt, berechnet aufgrund von Tongehalt
  - Mineralisationskoeffizient ist beeinflusst durch:
    - Bodeneigenschaften:
      - Tongehalt
      - pH Wert
    - Bodenbearbeitung:
      - Anteil Kunstwiese
      - Anteil Hackfrüchte



# Prinzip Humusbilanzmethode Neyroud (SALCA)

- Zufuhr organische Substanzen
  - Kulturen (festgelegte Werte, nicht ertragsabhängig)
    - Wurzeln und Stoppeln (Wurzeln und obligatorische oberirdische Ernterückstände)
    - Kraut, Stroh, Mulch (fakultative Ernterückstände)
  - Organische Dünger (Art und Menge)
  
- Nicht tatsächlich anfallende Mengen, sondern die geschätzte Menge, die schliesslich als Humus bleibt



# Prinzip Humusbilanzmethode VDLUFA

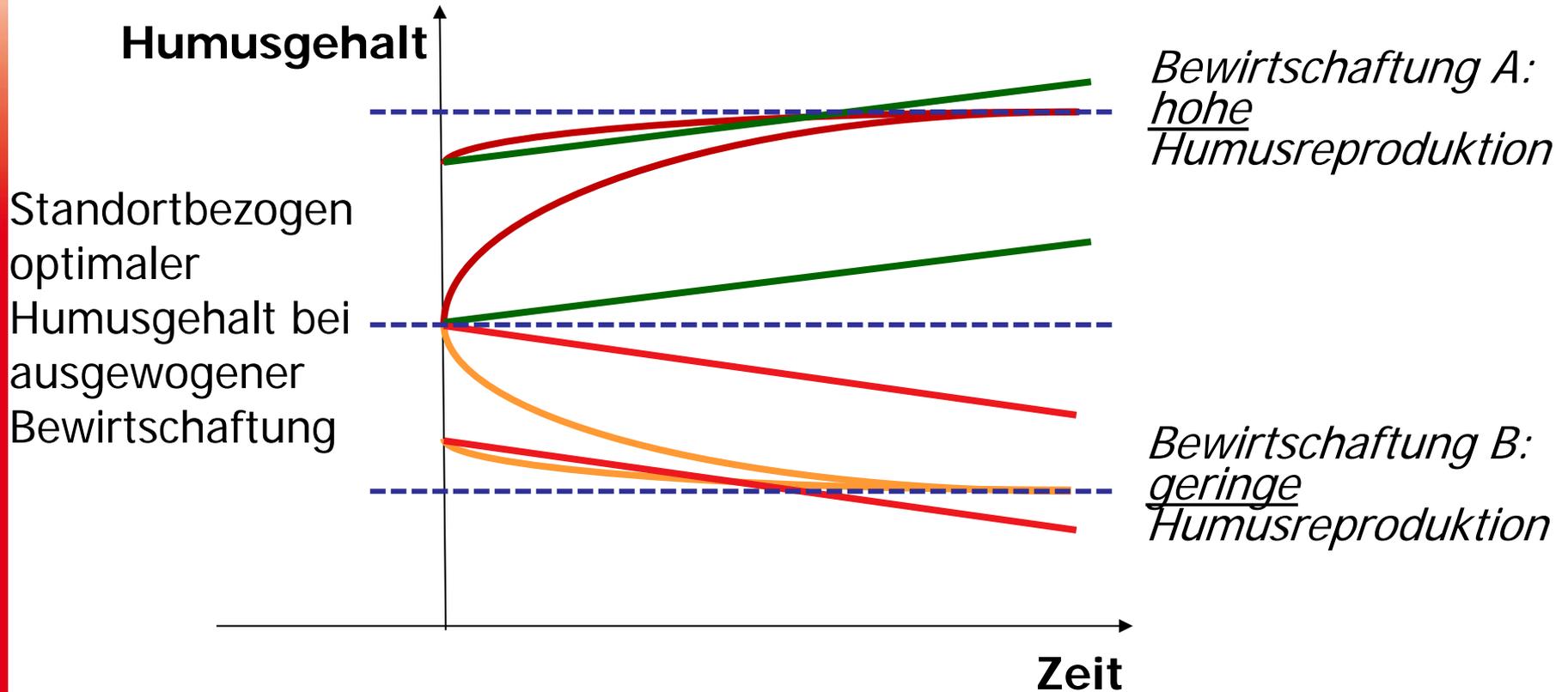
- Humusbedarf der Kulturen = Humusveränderung bei Anbau der Kultur bei optimaler mineralischer Düngung, 3 verschiedene Parametersätze (festgelegte Werte, nicht ertragsabhängig)
- Zufuhr organische Substanzen
  - Kulturen (ertragsabhängig)
    - Kraut, Stroh, Mulch (fakultative Ernterückstände)
  - Organische Dünger (Art und Menge)
- Nicht tatsächlich anfallende Mengen, sondern die geschätzte Menge, die schliesslich als Humus bleibt



# Prinzip Simulationsmodelle

- Humusmenge im Boden, ev. unterteilt in Pools
- Zufuhr durch Kulturen, unterirdisch und oberirdisch, inklusive Abbaubarkeit
- Zufuhr durch organische Dünger, inkl. Abbaubarkeit
  - Berechnung von Abbau in Abhängigkeit von
    - Bodeneigenschaften
    - Klima, Wetterdaten
  - Intervall: jährlich, monatlich oder täglich
- Ergebnis: Verlauf der Humusmenge im Boden bzw. Humusgehalt im Boden

# C-Simulationsmodelle vs. Humusbilanzen



C-Simulationsprogramm



Humusbilanz



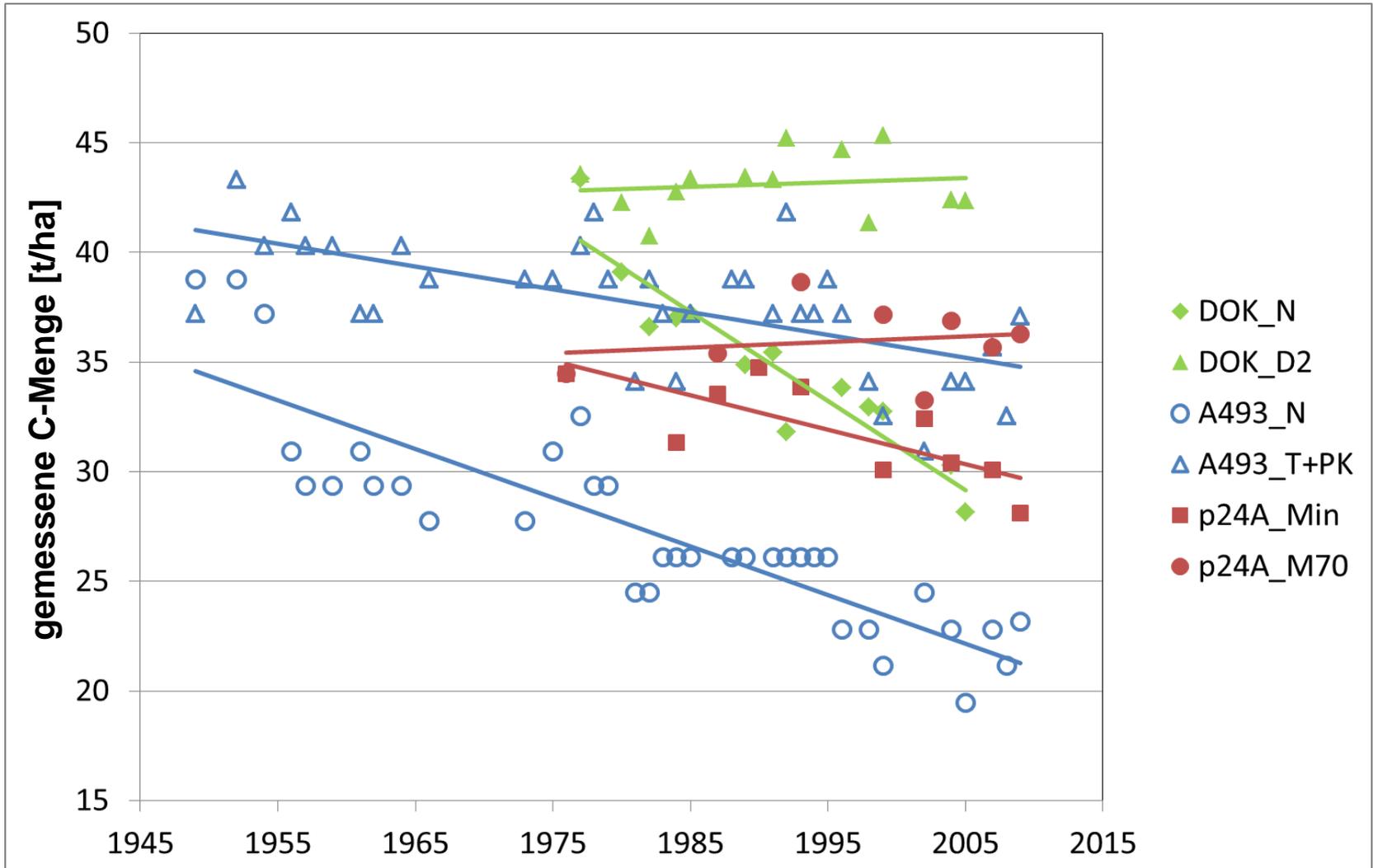
# Validierung

- **Beurteilung der Ergebnisse der Humusbilanz im Vergleich zur Humusentwicklung in **Langzeitversuchen****
- Masterarbeit H. Hostenstein (2010): Validierung an Langzeitversuchen der Schweiz
- Projekt SOMpatic:
  - Ergebnisse von 20 europäischen Langzeitversuchen
  - Prüfung von weitverbreiteten Humusbilanzmethoden



# Veränderungen in den Langzeitversuchen

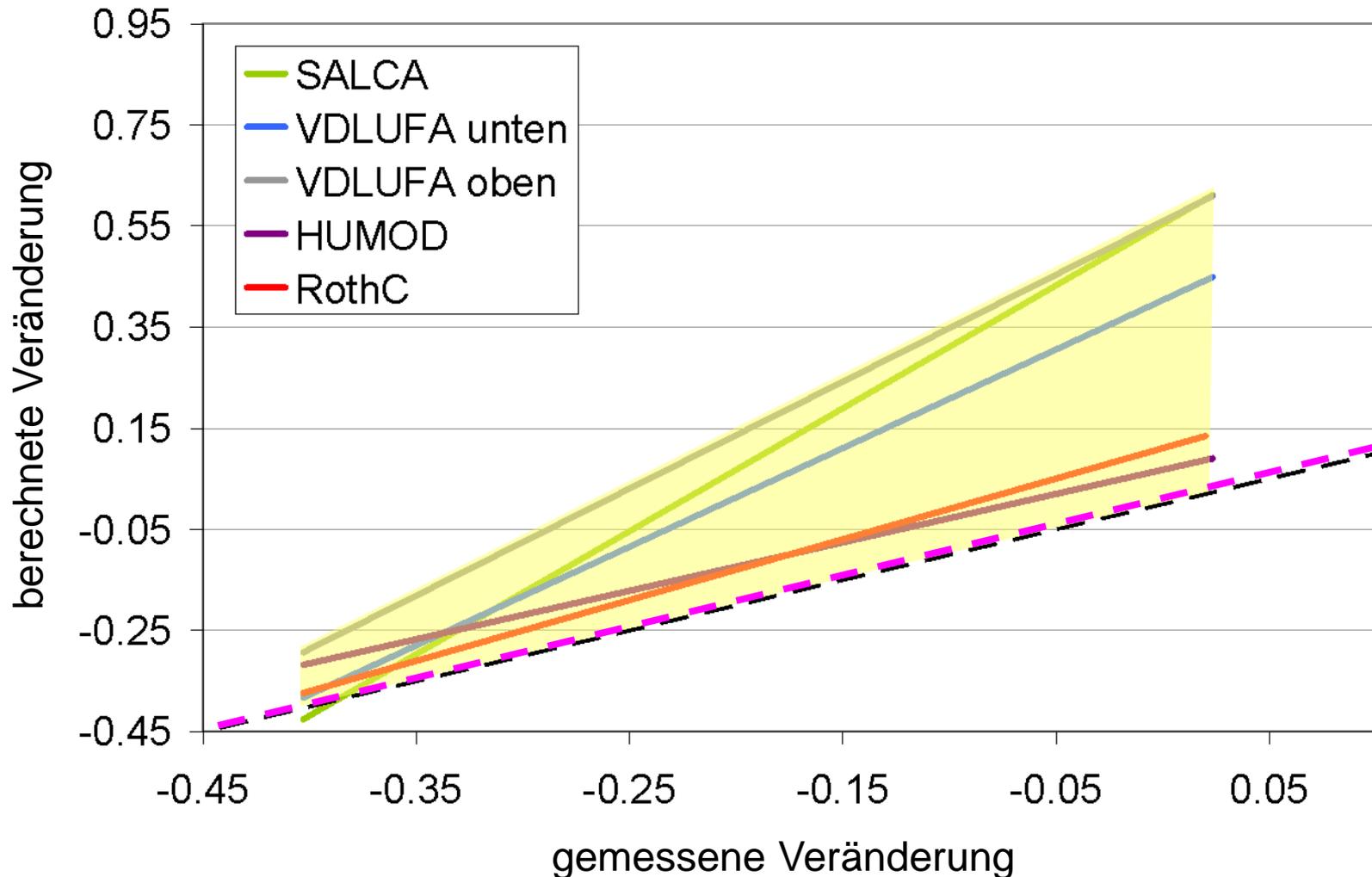
Pro Versuchsstandort jeweils Verfahren mit höchster bzw. geringster Veränderung der C-Menge im Oberboden





# Validierungsergebnisse

Veränderung der gemessen bzw. berechneten Humusmengen in den Schweizer Langzeitversuchen [t C/ha\*y]



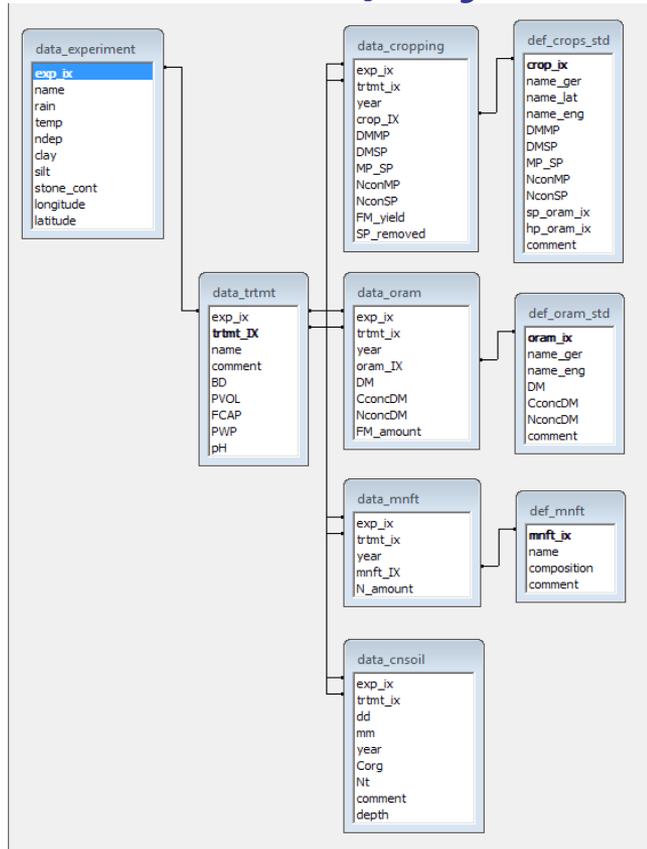
# Humusbilanzmethoden

Methoden	Ansatz / Koeffizientengenerierung
VDLUFA (VDLUFA 2014)	3-stufige Koeffizienten zu org. Düngerbedarf (Humusbedarf) bzw. org. Düngungsleistung (Humusersatz) von Fruchtarten und Düngern.
STAND (Kolbe 2010)	Ansatz wie VDLUFA. Empirische Koeffizientenanpassung auf Grundlage von Humus-Mengenänderungen in Dauerfeldversuchen. Standortspezifische Bedarfswerte; Mengenabhängige Humusreproduktion der org. Dünger
SALCA (Oberholzer et al. 2006)	Berechnung der Humusbilanz mit statischen Koeffizienten auf Grundlage von Ackerflächenverhältnis, org. Düngung und Ton-abhängigem Richtwert für den Boden-C-Gehalt.
HU-MOD (Brock et al. 2012)	Ausweisung von Humusbilanzkoeffizienten mit einem Modell zur C- und N-Dynamik im System Boden-Pflanze.
CCB (Franko et al. 2011)	Ausweisung von Mengenänderungen der OBS mit einem C-Umsatzmodell.

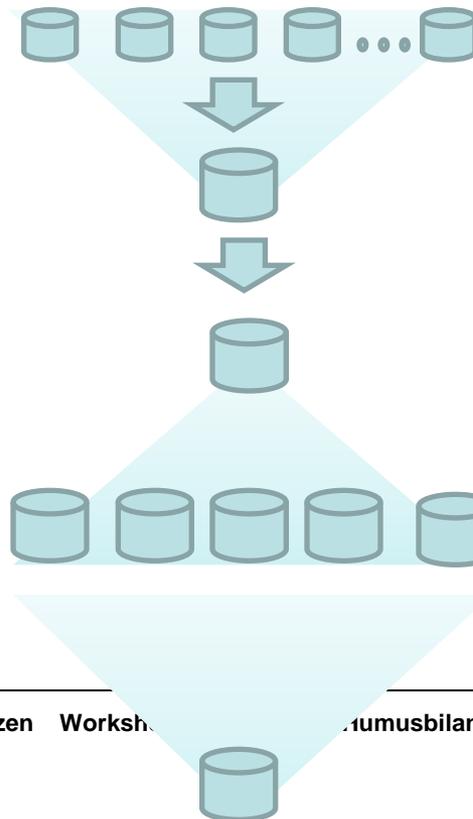
# Datenbasis

- >20 Versuche in 4 Ländern mit insgesamt >300 Treatments.
- Versuchsdauer zwischen 12 und 63 Jahren.

## Datenbank/Aufbau



## Datenverarbeitung



Primärdaten

Aggregierte Daten,  
einheitliches Schema

Datenauswahl für  
Auswertungen

Humusbilanzierung  
mit einheitlichem  
Parameterraum

Aggregierte Ergebnisse  
für Auswertungen

## Korrelationen zwischen Bilanzergebnissen und Veränderung des Humusgehaltes der Verfahren innerhalb der einzelnen Versuche (partielle Korrelationen bezogen auf Anfangshumusgehalt)

Field experiments	n	CCB	HUMOD	LUFA	SALCA	STAND
Methau_DV	18	0.866**	0.107	0.595**	0.969**	0.836**
Spröda_DV	18	0.796**	0.784**	0.667**	0.894**	0.717**
Methau_b17	10	0.839**	0.467	0.810**	0.834**	0.894**
Bjertorp	14	0.661**	0.867**	0.897**	0.549*	0.645**
Ekebo	7	0.687	0.830**	0.508	0.386	0.652
Högasa	24	0.652**	0.637**	0.588**	0.642**	0.646**
Örja	7	0.918**	0.268	0.496	0.862**	0.841**
ZOFE	12	0.481	0.126	-0.164	0.287	-0.057
DOK	23	0.744**	0.700**	0.783**	0.832**	0.804**
Vreta Kloster	7	1.000**	0.931**	0.805*	0.997**	0.999
Shebantesevo	6	-0.231	-0.123	-0.328	0.278	0.131
Changins p24A	12	0.719**	-0.010	0.686**	0.728**	0.760
OAFEG	9	0.668*	0.270	0.682*	0.245	0.196
Number of experiments with significant Correlations p<0.1		10	6	9	9	9



# Zusammenfassung der bisherigen Validierungsergebnisse

- Alle Modelle schätzten die **relativen Veränderungen der C-Mengen** in den Böden der verschiedenen Versuchsverfahren richtig ein (gute Korrelationen),  
**aber:**  
die **absoluten Veränderungen der C-Mengen** in den Böden konnten nicht korrekt berechnet werden (grosse Abweichungen bei den absoluten Werten).
- SALCA ist im Vergleich zu den andern Methoden meistens recht gut und scheint eine robuste Methode zu sein.
- Grosser Verbesserungsbedarf besteht in Bezug auf die **Schätzung der Eingabeparameter**; evtl. müssten **zusätzliche Parameter** einbezogen werden

# Berechnungsschema der Humusbilanz

## Humusverlust

**Brutto Mineralisierungs-Koeffizient**  
(abhängig vom Tongehalt)

**Korrekturen:**

- pH-Wert
- Lockerungsintensität (Anteil Hackfrüchte)
- Fruchtfolgegestaltung (Anteil Kunstwiesen)

**Netto Mineralisierungs-Koeffizient**

**Zielwert des Humusgehaltes**  
(abhängig vom Tongehalt)

## Humusgewinn

**Zufuhr an organischer Substanz**  
→ Ernterückstände  
→ organische Dünger



# Berechnung der Humusbilanz am Beispiel eines viehlosen Betriebs mit 5-jähriger Fruchtfolge

<b>Fruchtfolge: Weizen – Gerste – Raps – Weizen - Körnermais</b>			
<b>Verluste:</b>	940 kg Humus / ha u. Jahr		<b>4700</b>
<b>Gewinne:</b>	- Weizen (Wurzeln + Stoppeln)	350	
	- Gerste (Wurzeln + Stoppeln)	350	
	- Raps (Gesamtpflanze)	1100	
	- Weizen (Wurzeln + Stoppeln)	350	
	- Körnermais (Gesamtpflanze)	900	
		<b>3050</b>	
<b>Bilanz: Defizit, das ausgeglichen werden muss:</b>			<b>- 1650</b>
<b>Ausgleich durch</b>	Stroh (2x) auf Feld belassen	1100	
	Gründüngung vor Mais	400	
<b>Zusätzlicher Gewinn</b>			<b>+ 1500</b>
<b>+/- Ausgeglicheene Bilanz</b>			



# Berechnung der Humusbilanzen in Excel

## Dateneingabe

Dateneingabe						
NAME	Parzelle 1	Parzelle 2	Parzelle 3	Parzelle 4	Parzelle 5	Parzelle 6
Parzellenname / Betriebsspezifische Nr.						
Anzahl betrachtete Parzellen	6					
<b>Angaben zur Parzelle / Standort</b>						
Fläche Ackerkulturen insgesamt auf Betrieb (ha)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
FlächeParzelle (ha)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Tongehalt (%)	19.0	24.0	21.0	26.0	18.0	19.0
Humusgehalt (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
pH (-)	7.8	7.8	7.8	8.0	5.7	7.9
<b>Fruchtfolge Ackerbau:</b>						
Ernte Vorkultur (Tag.Monat.Jahr)	1. Aug. 00	2. Nov. 00	10. Aug. 00	8. Feb. 01	31. Dez. 00	2. Aug. 00
Zwischenkultur (Code siehe Tabelle Kulturen)			ZF_wiha1			
Zwischenkultur fakultative Ernterückstände verbleiben auf Parzelle JA = 1, NEIN=0			1			
Saat Kultur (Tag.Monat.Jahr)	12. Aug. 00	1. Mai. 01	28. Okt. 00	4. Apr. 01	1. Jan. 01	3. Mai. 01
Ernte Kultur (Tag.Monat.Jahr)	31. Dez. 01	13. Aug. 01	1. Aug. 01	12. Sep. 01	31. Dez. 01	3. Nov. 01
Kultur (Code siehe Tabelle Kulturen)	KW_Int_T	SG	WW	Ka_La	KW_Int_T	KM
Hauptkultur fakultative Ernterückstände verbleiben auf Parzelle JA = 1, NEIN=0			1			1
Ertrag Hauptkultur dt/ha (FG)				300		
Ertrag Hauptkultur dt/ha (TG)	150	33	60		150	90
<b>Düngung:</b>						
Angaben Düngermengen: 1=t bzw. m3/ha; 2= t bzw. m3 / Parzelle	2			1	2	1
Dünger 1: Düngerart gemäss Liste (Nummer)				19.0		19.0
Dünger 1: Menge org. Dünger t bzw. m3				44.0		39.5
Dünger 1: Verdünnung (nur f. Gülle)						
Dünger 2: Düngerart gemäss Liste (Nummer)	2.0				28.0	
Dünger 2: Menge org. Dünger t bzw. m3	152				144	
Dünger 2: Verdünnung (nur f. Gülle)	0.5				0.5	
Dünger 3: Düngerart gemäss Liste (Nummer)						
Dünger 3: Menge org. Dünger t bzw. m3						
Dünger 3: Verdünnung (nur f. Gülle)						



# Berechnung der Humusbilanzen in Excel

## Bilanzrechnungen

Berechnungen							
	Parzellennummer	1	2	3	4	5	6
	Parzellenname	Parzelle 1	Parzelle 2	Parzelle 3	Parzelle 4	Parzelle 5	Parzelle 6
	Fläche Ackerkulturen insgesamt (ha)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	Fläche (ha)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Anteil der Parzelle an totaler Ackerfläche	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Gültigkeitstest	Betrachtete Zeitspanne von Ernte Vorkultur - Ernte Kultur	517.00	284.00	356.00	216.00	365.00	458.00
Humusbilanz SALCA	Betrieb %Anteil Hackfrüchte	33.33	33.33	33.33	33.33	33.33	33.33
	Betrieb %Anteil Kunstwiese u. Grünbrache	33.33	33.33	33.33	33.33	33.33	33.33
	Mineralisationskoeffizient (brutto)	1.37	1.31	1.35	1.29	1.38	1.37
	Mineralisationskoeffizient (netto)	1.21	1.15	1.19	1.09	1.38	1.19
	Humusverlust (kg/ha)	-855.67	-963.07	-900.50	-966.14	-941.12	-841.55
	Humusneubildung (kg/ha) unterirdische Rückstände	800.00	350.00	550.00	200.00	800.00	900.00
	Humusneubildung (kg/ha) Düngung	1086.80	0.00	0.00	3520.00	1029.60	3160.00
	Humusneubildung (kg/ha) Rückstände Oberfläche	0.00	0.00	750.00	0.00	0.00	0.00
	Humusbilanz (kg/ha)	1031.13	-613.07	399.50	2753.86	888.48	3218.45
	Humusbilanz effektiv (kg)	1031.13	-613.07	399.50	2753.86	888.48	3218.45
	Betrieb Humusbilanz	1279.72	1279.72	1279.72	1279.72	1279.72	1279.72
Humusbilanz VDLUFA untere Werte	Betrieb Humusbilanz	685.06	685.06	685.06	685.06	685.06	685.06
Humusbilanz VDLUFA obere Werte	Betrieb Humusbilanz	810.29	810.29	810.29	810.29	810.29	810.29
Humod	hrc Betrieb (flächengewichtet)	231.47	231.47	231.47	231.47	231.47	231.47



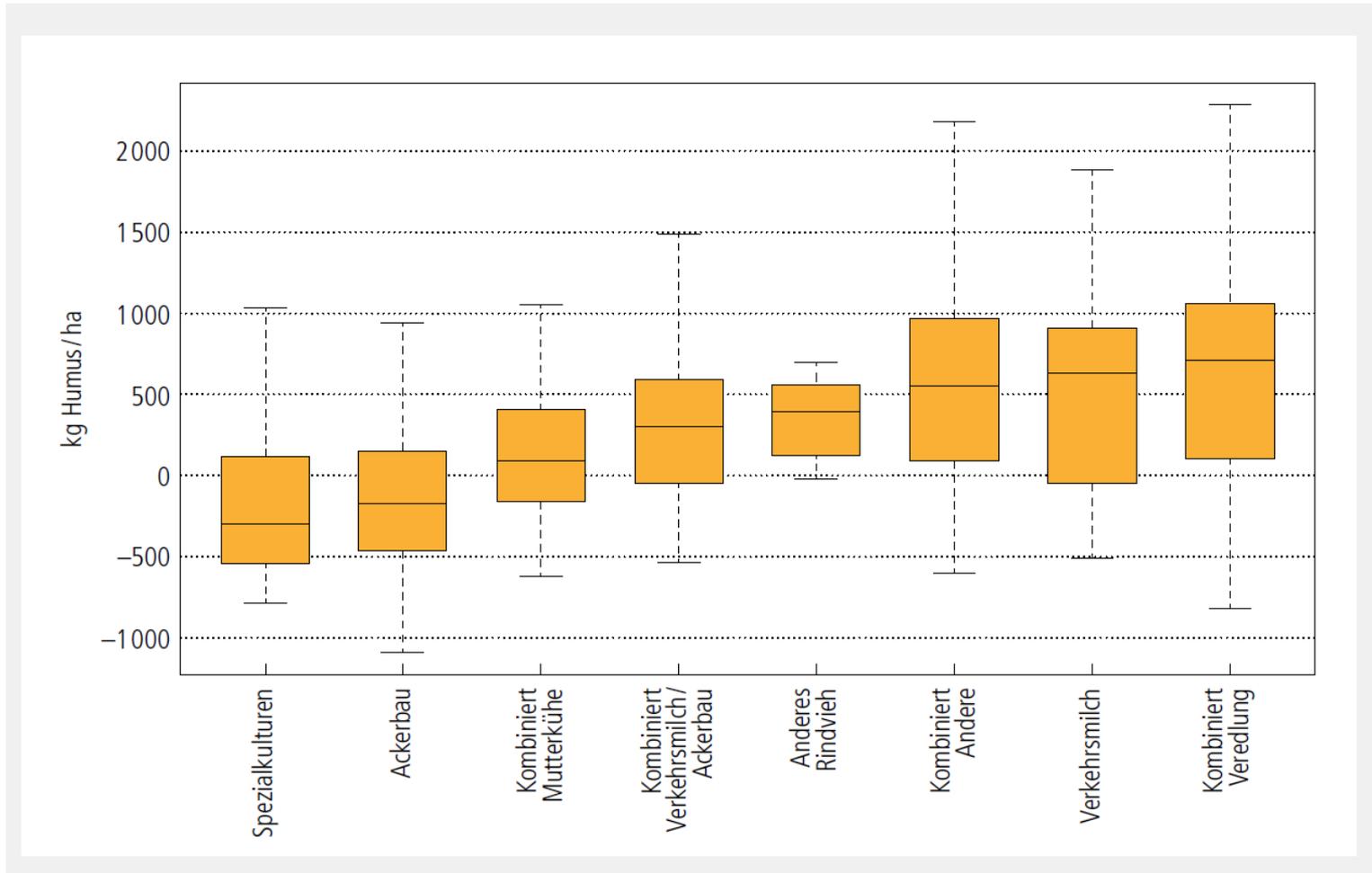
# Anwendung Humusbilanz in Programm Agrarumweltmonitoring (AUM)

- Basiert auf Verordnung über die Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft (1998)
- Ziel: Einfluss der Landwirtschaft auf die Umweltqualität erfassen
- Zentrale Auswertung der Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) ermöglicht analog zur Zentralen Auswertung von Buchhaltungsdaten die Erhebung von Daten über die landwirtschaftlichen Praktiken in einem Netz von Betrieben
- Indikatoren (AUI's) in sechs Themenbereichen «Stickstoff», «Phosphor», «Energie/Klima», «Wasser», «Boden» und «Biodiversität/Landschaft»
- Bereich Boden: Indikator für Bodenqualität: → Humusbilanz



# Jährliche Humusbilanz nach Betriebstypen

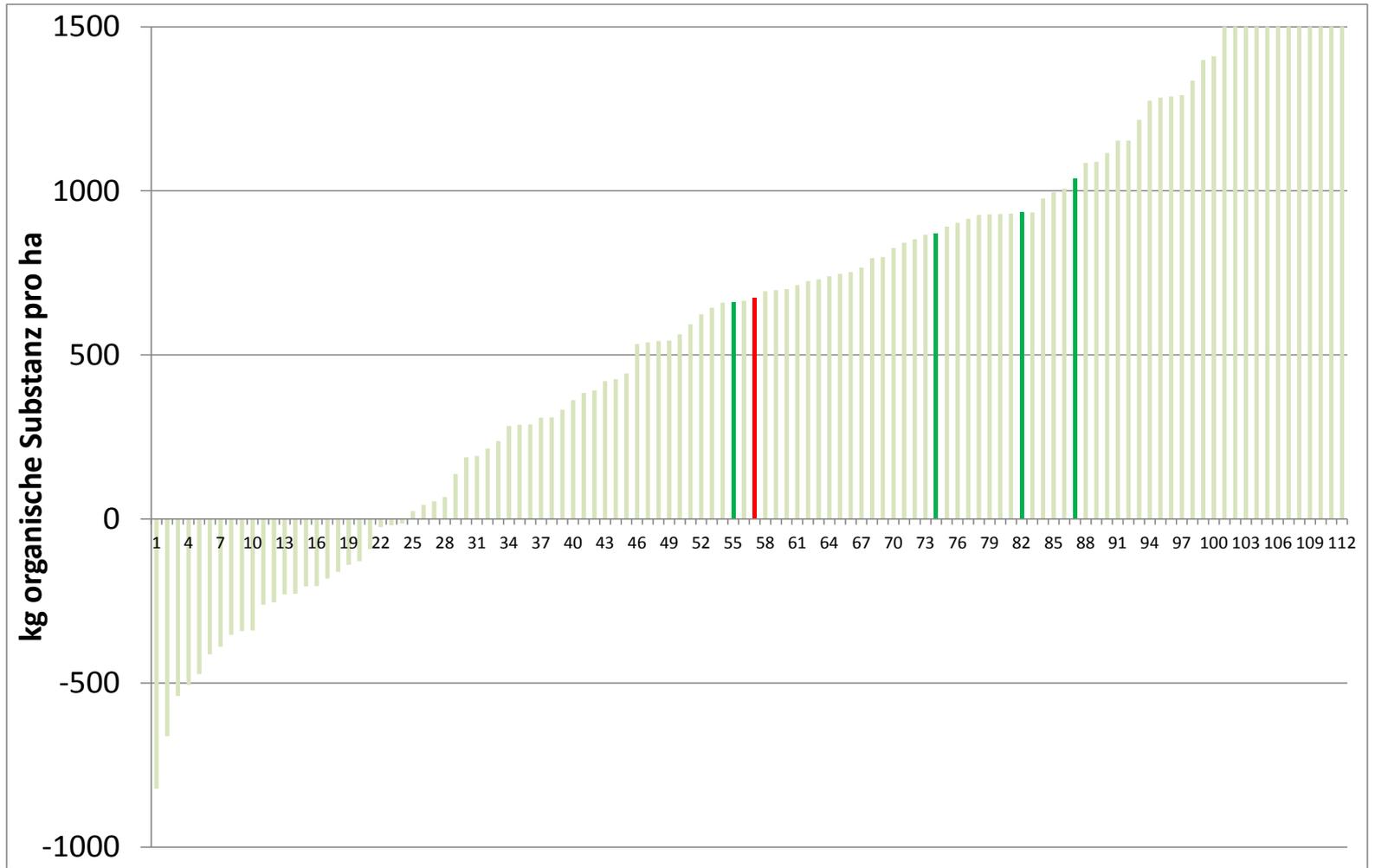
## Agrarbericht BLW 2014





# Humusbilanzergebnisse Betriebe kombinierte

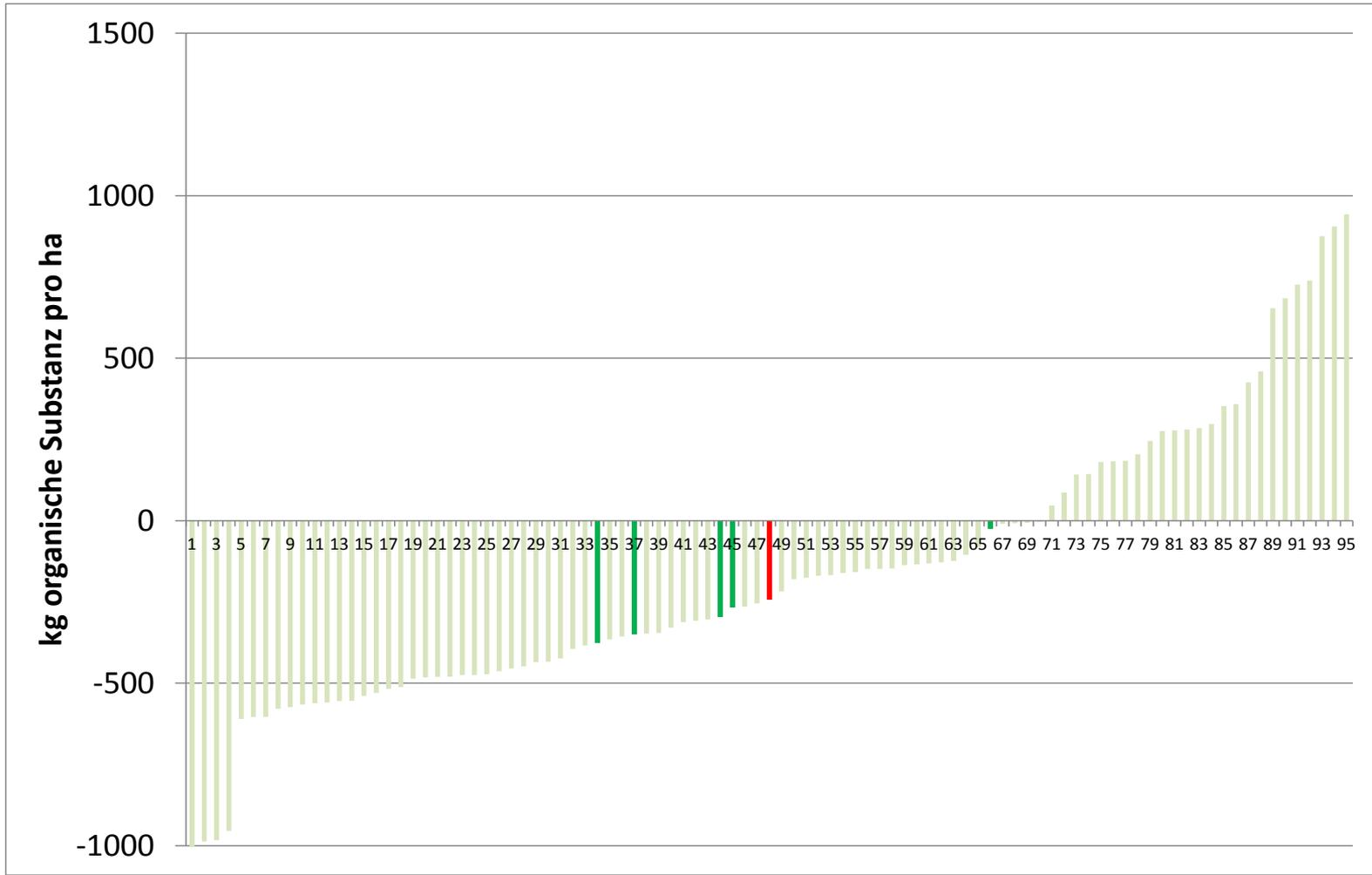
Veredelung rot: Median, grün: Beispielbetrieb





# Humusbilanzergebnisse Ackerbaubetriebe

rot: Median, grün: Beispielbetrieb



# Ergebnisse Humusbilanzierung AUM-Betriebe

- Deutliche Unterschiede zwischen Betriebstypen
- Durch Standort (Bodeneigenschaften) und Betriebstyp (Fruchtfolge, Düngenanfall) sind wichtige Beiträge zur Humusbilanz vorgegeben
  - Verlust durch Mineralisierung und
  - obligate Ernterückstände (Wurzeln, Stoppeln)
- Handlungsspielraum für den Landwirt besteht v.a. bei
  - Fakultative Ernterückstände (Strohdüngung)
  - Zwischenkulturen, Gründüngung
  - Organische Düngung



# Fazit Humusbilanz

**Die Humusbilanz ist ein brauchbares Werkzeug für die praktische Anwendung (Bilanzierung)!**

Sie eignet sich nicht für die Vorhersage des Humusgehaltes; dazu sind Simulationsmodelle nötig.

Die Humusbilanz basiert auf sehr vielen Schätzungen; deshalb liefert sie abweichende Werte bei speziellen Klimaverhältnissen, bei besonderen Anbauverfahren (z.B. Direktsaat), bei Zufuhr grosser Mist-/Kompostmengen usw.

**→ Folglich muss der Humusgehalt regelmässig mit Bodenanalysen überprüft werden!**



# Danke für Ihre Aufmerksamkeit



**Agroscope** gutes Essen, gesunde Umwelt