

# **Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien – Ergebnisse eines UFOPLAN-Vorhabens**

**Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer  
Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann**  
  
**IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft  
*Prof. R. Stegmann und Partner*  
Schellerdamm 19 - 21  
21079 Hamburg**



**Dipl.-Chem. Rolf Schneider  
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Rettenberger**  
  
**Ingenieurgruppe RUK GmbH  
Auf dem Haigst 21  
70597 Stuttgart**



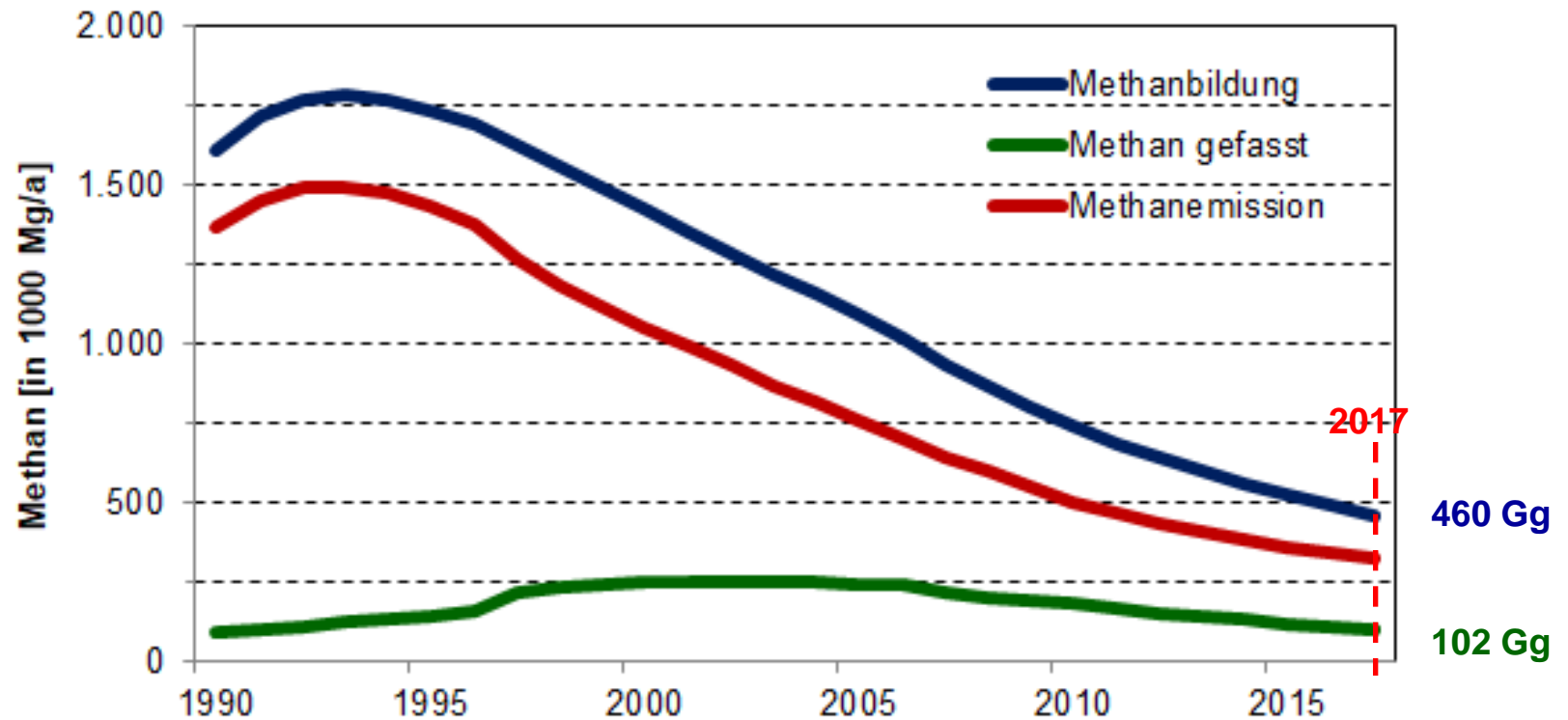
# Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien

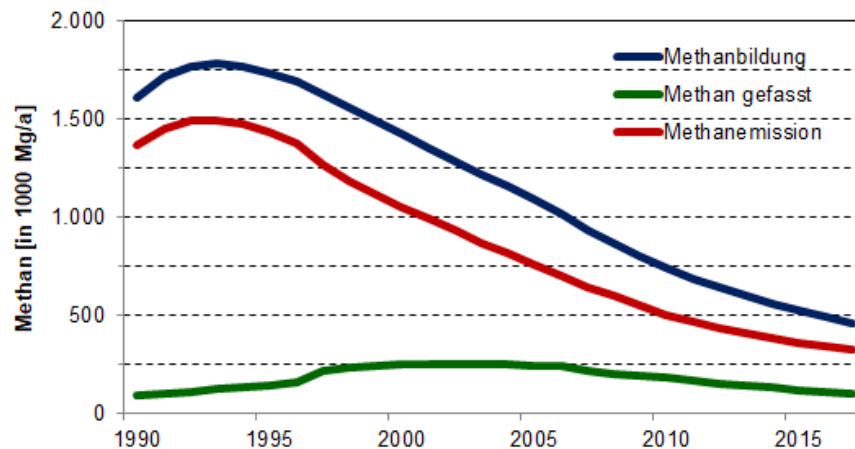
- **Nationaler Inventarbericht, Anlass zur Überprüfung**
- **Gasbildungspotenziale und Kennwerte zur Kinetik der Gasbildung**
- **Auswertungen zum Gashaushalt von Deponien im UFOPLAN-Vorhaben**
- **Schlussfolgerungen, Ausblick**



# Auswirkungen abfallwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Bildung und Emission von Deponiegas

Bisher im NIR:





### Fragen:

- **Wieviel Methan wird tatsächlich noch auf Deutschlands Deponien gebildet? (Nenner Gaserfassungsgrad)**
- **Mit welchen Parametern kann man diese Methanbildung möglichst realistisch quantifizieren?**

Tabelle 455: Methanfassung auf Deponien

Jahr	Gasbildung in Gg	NIR Aktuell		Gesamtmenge	Erfassungsrate in %
		Gefasste Gasmenge in Gg	Gefasste Gasmenge in Gg		
		Ablagerungs- u. Stilllegungsphase	Nachsorgephase		
1990	1614			94	5,8
1991	1715			105	6,1
1992	1772			115	6,5
1993	1787			125	7,0
1994	1770			136	7,7
1995	1738			146	8,4
1996	1690			160	9,5
1997	1629			222	13,6
1998	1559			242	15,5
1999	1490			247	16,6
2000	1423			251	17,6
2001	1353			252	18,7
2002	1288			254	19,7
2003	1222			254	20,8
2004	1158	236	11	247	21,3
2005	1094			247	22,6
2006	1018	231	11	242	23,8
2007	937			220	23,5
2008	865	190	11	201	23,2
2009	800			191	23,8
2010	741	171	11	181	24,4
2011	689			167	24,2
2012	641	140	14	154	24,0
2013	598			143	24,0
2014	559	121	13	134	24,0
2015	523			120	23,0
2016	490	97	11	108	22,1
2017	460			102	22,1

kursiv: Daten des Statistischen Bundesamtes Statistisches Bundesamt (FS 1:

August 2016

# Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien

- Nationaler Inventarreport, Anlass zur Überprüfung
- Gasbildungspotenziale und Kennwerte zur Kinetik der Gasbildung
- Auswertungen zum Gashaushalt von Deponien im UFOPLAN-Vorhaben
- Schlussfolgerungen, Ausblick

Methane calculation from type of material

Wood

	National values
DOC	0.430
DOCf	0.500
Half-life time (t <sub>1/2</sub> )	23.0
Decay rate constant	h = ln(2)/h
exp1	exp(-h)
Process start in deposition year. Month M	10.00
exp2	exp(-h*(13-M)/2)
Fraction to CH <sub>4</sub>	0.490

Year	Amount deposited Gg	MCF fraction	Dissimilable DOC (DDOC) deposited Gg	DDOC not reacted (DDOC) Deposition year Gg	DDOC lost in SWDS end of year Gg	DDOC accumulated in SWDS end of year Gg	DDOC lost exp1 Gg	Methane formed + F Gg
1997	1.457	1.00	313	311	2	5.476	160	105
1998	1.292	1.00	278	276	2	5.589	165	108
1999	1.228	1.00	264	262	2	5.685	168	110
2000	1.037	1.00	223	221	2	5.738	170	111
2001	1.220	1.00	262	260	2	5.828	172	113
2002	860	1.00	185	183	1	5.838	174	114
2003	709	1.00	153	151	1	5.816	174	114
2004	529	1.00	114	113	1	5.756	174	113
2005	238	1.00	51	51	0	5.636	171	112
2006	10	1.00	2	2	0	5.471	167	109
2007	11	1.00	2	2	0	5.311	162	106
2008	5	1.00	1	1	0	5.154	158	103
2009	1	1.00	0	0	0	5.002	153	100
2010	0	1.00	0	0	0	4.853	148	97
2011	0	1.00	0	0	0	4.709	144	94
2012	3	1.00	1	1	0	4.570	140	91
2013	3	1.00	1	1	0	4.435	136	89
2014	0	1.00	0	0	0	4.303	132	86
2015	0	1.00	0	0	0	4.176	128	83
2016	0	1.00	0	0	0	4.052	124	81
2017	0	1.00	0	0	0	3.931	120	79
2018	0	1.00	0	0	0	3.815	117	76
2019	0	1.00	0	0	0	3.701	113	74
2020	0	1.00	0	0	0	3.591	110	72



$$\text{CH}_4 \text{ generated}_T = \text{DDOCm}_{T-1} * (1 - e^{-k}) * F * 16/12$$

$\text{DDOCm}_{T-1}$  = zum Ende des Jahres T-1 im Deponiekörper vorhandenes DDOCm [Gg] mit  
DDOCm = Kohlenstoff, der unter den in der Deponie herrschenden Bedingungen zersetzt wird [Gg]

$k$  = Abbaukonstante  $[1/a] = \ln(2) / t_{1/2}$  mit  
 $t_{1/2}$  = Halbwertszeit [a]

$F$  = Methankonzentration im gebildeten Deponiegas [-] (0,5)

$16/12$  = Molekulargewichtsverhältnis  $\text{CH}_4/\text{C}$  [-]

$T$  = Jahr, für das die Kalkulation durchgeführt wird

$$\text{DDOCm} = W * \text{DOC} * \text{DOC}_f * \text{MCF}$$

$W$  = Masse des deponierten Abfalls [Gg Abfall]

$\text{DOC}$  = Anteil abbaubarer organischer Kohlenstoff im deponierten Abfall  
[Gg C / Gg Abfall]

$\text{DOC}_f$  = Anteil DOC, der in der Deponie anaerob zersetzt wird [-]

$\text{MCF}$  = Methan-Korrektur-Faktor [-];  $1 - \text{MCF}$  = Anteil DOC, der (im Ablagerungsjahr) aerob abgebaut wird



# Organikhaltige Fraktionen und bisher im deutschen NIR für die Halbwertszeit, den DOC und den DOC<sub>f</sub> angesetzten Werte

Abfallfraktion	Ansatz im deutschen NIR			
	DOC MgC/MgFM	DOC <sub>f</sub> -	Halbwertszeit Jahre	k-Wert 1/a
Organik (Food waste)	0,18 (ab NIR 2019: 0,15)	0,5	4	0,173
Garten- und Parkabfälle (Garden)	0,2	0,5	7	0,099
Papier und Pappe (Paper)	0,4	0,5	12	0,058
Holz (und Stroh) (Wood and straw)	0,43	0,5	23	0,030
Textilien (Textiles)	0,24	0,5	12	0,058
Windeln (Disposable nappies)	0,24	0,5	12	0,058
Klärschlamm (Sewage sludge)	0,15	0,5	4	0,173
Verbundmaterialien	0,1	0,5	12	0,058
MBA-Abfälle	0,023	0,5	12	0,058

MCF bisher 1,0



# Quantifizierung der Methanbildung

## Bisher im NIR:

Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile & Nappies	Composites	Sludge	MBA output	Total	Methane recovery	Methane emission
	A Gg	B Gg	C Gg	D Gg	E Gg	F Gg	G Gg	H Gg	I Gg	J Gg	J = (G-H)*(1- OX) Gg
1988	577	0	575	53	49	41	245	0.00	1.541	81	1315
1989	580	0	587	55	54	44	244	0.00	1.565	91	1327
1990	601	0	605	59	61	49	238	0.00	1.614	92	1370
1991	660	0	637	69	73	57	220	0.00	1.715	103	1452
1992	686	0	658	77	84	64	203	0.00	1.772	113	1493
1993	685	0	669	85	92	69	187	0.00	1.787	123	1498
1994	666	0	672	92	98	72	170	0.00	1.770	133	1474
1995	639	0	670	98	102	74	153	0.00	1.738	143	1435
1996	607	0	664	103	106	74	136	0.00	1.690	157	1380
1997	568	2	652	107	109	73	119	0.00	1.629	218	1270
1998	527	3	636	110	109	71	104	0.00	1.559	238	1189
1999	487	4	618	112	110	69	91	0.00	1.490	242	1124
2000	446	6	599	114	112	66	81	0.00	1.423	246	1060
2001	406	6	576	115	116	64	71	0.20	1.353	247	995
2002	369	5	555	116	118	61	63	0.60	1.288	249	935
2003	333	5	532	116	119	59	56	1.10	1.222	248	876
2004	299	5	510	116	120	56	50	1.50	1.158	247	820
2005	267	5	488	114	118	53	47	1.80	1.094	247	762
2006	230	4	463	112	113	51	43	2.20	1.018	242	699
2007	194	4	437	108	107	48	37	2.60	937	220	645
2008	163	4	413	105	101	45	31	3.00	865	201	597
2009	137	4	389	102	95	43	26	3.40	800	191	548
2010	115	3	368	99	90	40	22	3.60	741	181	504
2011	97	3	347	96	85	38	19	3.80	689	167	470
2012	82	3	328	93	80	36	16	4.00	641	154	438
2013	69	2	309	90	76	34	13	4.10	598	142	411
2014	58	2	292	88	71	32	11	4.20	559	134	382
2015	49	2	276	85	67	30	10	4.20	523	126	357
2016	41	2	260	83	64	28	8	4.30	490	118	335
2017	34	2	246	80	60	27	7	4.30	460	102	323
2018											
2019											
2020											
2021											
2022											
2023											
2024											
2025											
2026											





# Methanbildungspotenziale $L_0$ im internationalen Vergleich

Tabelle 10: Defaultwerte zum Methanbildungspotenzial verschiedener Länder zum Nationalen Inventarbericht (Angaben von 2014)

Land	DOC MgC/MgFM	DOC <sub>f</sub> -	MCF -	F -	L <sub>0</sub> m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /MgFM
Australien	134	variiert	1	0,5	78
Österreich	160	0,55	1	0,55	90
Bulgarien	110	0,5	1	0,5	51
Canada	172	0,6	1	0,5	96
Kroatien	157	0,55	0,89	0,5	72
Tschechien	193	0,5	1	0,55	99
Dänemark	113	0,5	1	0,41	45
Finnland	177	0,5	1	0,5	82
<b>Deutschland</b>	<b>261</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>122</b>
Griechenland	148	0,6	1	0,5	83
Ungarn	160	0,5	1	0,5	74
Irland	175	0,6	1	0,5	98
Italien	189	0,5	1	0,5	88
Luxemburg	180	0,5	1	0,5	84
Polen	123	0,5	1	0,5	57
Portugal	148	0,6	1	0,5	83
Rumänien	118	0,55	1	0,5	61
Slovakei	120	0,6	1	0,5	67
Spanien	134	0,5	1	0,5	62
Türkei	150	0,77	1	0,5	108
England	133	0,5	1	0,5	62
USA	203	0,5	1	0,5	100



# Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien

- Nationaler Inventarreport, Anlass zur Überprüfung
- Gasbildungspotenziale und Kennwerte zur Kinetik der Gasbildung
- **Auswertungen zum Gashaushalt von Deponien im UFOPLAN-Vorhaben**
  - **Fachliteratur**
  - **Untersuchungen an Deponien**
  - **Laborversuche**
- **Schlussfolgerungen, Ausblick**



# Methane calculation from type of material

## Wood

		National values
DOC	DOC	0,430
DOCf	DOCf	0,500
Half-life time (t <sub>1/2</sub> ):	h	23,0
Decay rate constant	k = ln(2)/h	0,0
exp1	exp(-k)	0,97
Process start in deposition year. Month M	M	10,00
exp2	exp(-k*(13-M/12))	0,99
Fraction to CH <sub>4</sub>	F	0,490

## Bisherige IPCC / NIR - Vorgaben

### Gasbildungspotenzial Holz:

215 kg \* 1,868

= 401 m<sup>3</sup> Deponiegas /Mg FM

### Fachliteratur:

21 – 114 m<sup>3</sup>/ Mg FM

(max. 254 m<sup>3</sup>/ Mg FM)



Year	Amount deposited	MCF	Dissimilable DOC (DDOC) deposited	DDOC not reacted. Deposition year	DDOC lost. Deposition year	DDOC accumulated in SWDS end of year	DDOC lost	Methane formed
	A	MCF	D = A * DOC * DOCf * MCF	B = D * exp2	C = D * (1 - exp2)	H = B + (H <sub>last year</sub> * exp1)	E = C + H * (1 - exp1)	Q = E * 16/12 * F
	Gg	fraction	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
1997	1.457	1,00	313	311	2	5.476	160	105
1998	1.292	1,00	278	276	2	5.589	165	108
1999	1.228	1,00	264	262	2	5.685	168	110
2000	1.037	1,00	223	221	2	5.738	170	111
2001	1.220	1,00	262	260	2	5.828	172	113
2002	860	1,00	185	183	1	5.838	174	114
2003	709	1,00	153	151	1	5.816	174	114
2004	529	1,00	114	113	1	5.756	174	113
2005	238	1,00	51	51	0	5.636	171	112
2006	10	1,00	2	2	0	5.471	167	109
2007	11	1,00	2	2	0	5.311	162	106
2008	5	1,00	1	1	0	5.154	158	103
2009	1	1,00	0	0	0	5.002	153	100
2010	0	1,00	0	0	0	4.853	148	97
2011	0	1,00	0	0	0	4.709	144	94
2012	3	1,00	1	1	0	4.570	140	91
2013	3	1,00	1	1	0	4.435	136	89
2014	0	1,00	0	0	0	4.303	132	86
2015	0	1,00	0	0	0	4.176	128	83
2016	0	1,00	0	0	0	4.052	124	81
2017	0	1,00	0	0	0	3.931	120	79
2018	0	1,00	0	0	0	3.815	117	76
2019	0	1,00	0	0	0	3.701	113	74
2020	0	1,00	0	0	0	3.591	110	72
2021	0	1,00	0	0	0	3.485	107	70

### Sowie längere Halbwertszeiten



Paper

		National values
DOC	DOC	0,400
DOCf	DOCf	0,500
Half-life time (t <sub>1/2</sub> ):	h	12,0
Decay rate constant	k = ln(2)/h	0,1
exp1	exp(-k)	0,94
Process start in deposition year. Month M	M	10,00
exp2	exp(-k*(13-M/12))	0,99
Fraction to CH <sub>4</sub>	F	0,490

**Gasbildungspotenzial Papier:**

**200 kg \* 1,868**

**= 373 m<sup>3</sup> Deponiegas /Mg FM**



**Fachliteratur: 126 - 242 m<sup>3</sup>/ Mg FM**

**Sowie kürzere Halbwertszeiten**

Year	Amount deposited	MCF	Dissimilable DOC (DDOC) deposited	DDOC not reacted. Deposition year	DDOC lost. Deposition year	DDOC accumulated in SWDS end of year	DDOC lost	Methane formed
	A	MCF	D = A * DOC * DOCf * MCF	B = D * exp2	C = D * (1 - exp2)	H = B + (H <sub>last year</sub> * exp1)	E = C + H * (1 - exp1)	Q = E * 16/12 * F
	Gg	fraction	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
1985	5.902	0,97	1.145	1.129	16	14.450	809	528
1986	5.910	0,97	1.148	1.132	16	14.771	827	541
1987	5.918	0,97	1.151	1.135	17	15.077	846	552
1988	6.030	0,97	1.173	1.156	17	15.387	863	564
1989	6.133	0,97	1.194	1.177	17	15.700	881	575
1990	9.095	1,00	1.819	1.793	26	16.612	907	593
1991	7.883	1,00	1.577	1.554	23	17.233	955	624
1992	6.710	1,00	1.342	1.323	19	17.589	986	644
1993	5.577	1,00	1.115	1.099	16	17.701	1.003	655
1994	4.966	1,00	993	979	14	17.686	1.008	658
1995	4.372	1,00	874	862	13	17.556	1.005	657
1996	3.634	1,00	727	716	10	17.287	996	651
1997	2.807	1,00	561	553	8	16.870	978	639
1998	2.327	1,00	465	459	7	16.382	953	623
1999	2.385	1,00	477	470	7	15.932	926	605
2000	1.421	1,00	284	280	4	15.318	898	587
2001	1.549	1,00	310	305	4	14.764	864	565
2002	1.191	1,00	238	235	3	14.170	832	544
2003	1.095	1,00	219	216	3	13.591	798	522
2004	974	1,00	195	192	3	13.020	766	500
2005	426	1,00	85	84	1	12.373	732	478
2006	10	1,00	2	2	0	11.681	694	454
2007	5	1,00	1	1	0	11.026	656	428
2008	6	1,00	1	1	0	10.408	619	404
2009	6	1,00	1	1	0	9.825	581	378



# Vergleich der bisher im deutschen NIR für die Halbwertszeit, den DOC und den DOC<sub>f</sub> angesetzten Werte, Vorschlag zur Anpassung zur genaueren Abschätzung der Methanemissionen von Deponien

Abfallfraktion	Ansatz im deutschen NIR				Vorschlag modifizierter Ansatz			
	DOC MgC/MgFM	DOC <sub>f</sub> -	Halbwertszeit Jahre	k-Wert 1/a	DOC MgC/MgFM	DOC <sub>f</sub> -	Halbwertszeit Jahre	k-Wert 1/a
Organik (Food waste)	0,18 (ab NIR 2019: 0,15)	0,5	4	0,173	0,15	0,5	4	0,173
Garten- und Parkabfälle (Garden)	0,2	0,5	7	0,099	0,2	0,5	7	0,099
Papier und Pappe (Paper)	0,4	0,5	12	0,058	0,4	0,5	7	0,099
Holz (und Stroh) (Wood and straw)	0,43	0,5	23	0,030	0,43	0,1	50	0,014
Textilien (Textiles)	0,24	0,5	12	0,058	0,24	0,5	12	0,058
Windeln (Disposable nappies)	0,24	0,5	12	0,058	0,24	0,5	12	0,058
Klärschlamm (Sewage sludge)	0,15	0,5	4	0,173	0,15	0,5	4	0,173
Verbundmaterialien	0,1	0,5	12	0,058	0,1	0,5	12	0,058
MBA-Abfälle	0,023	0,5	12	0,058	0,023	0,5	12	0,058

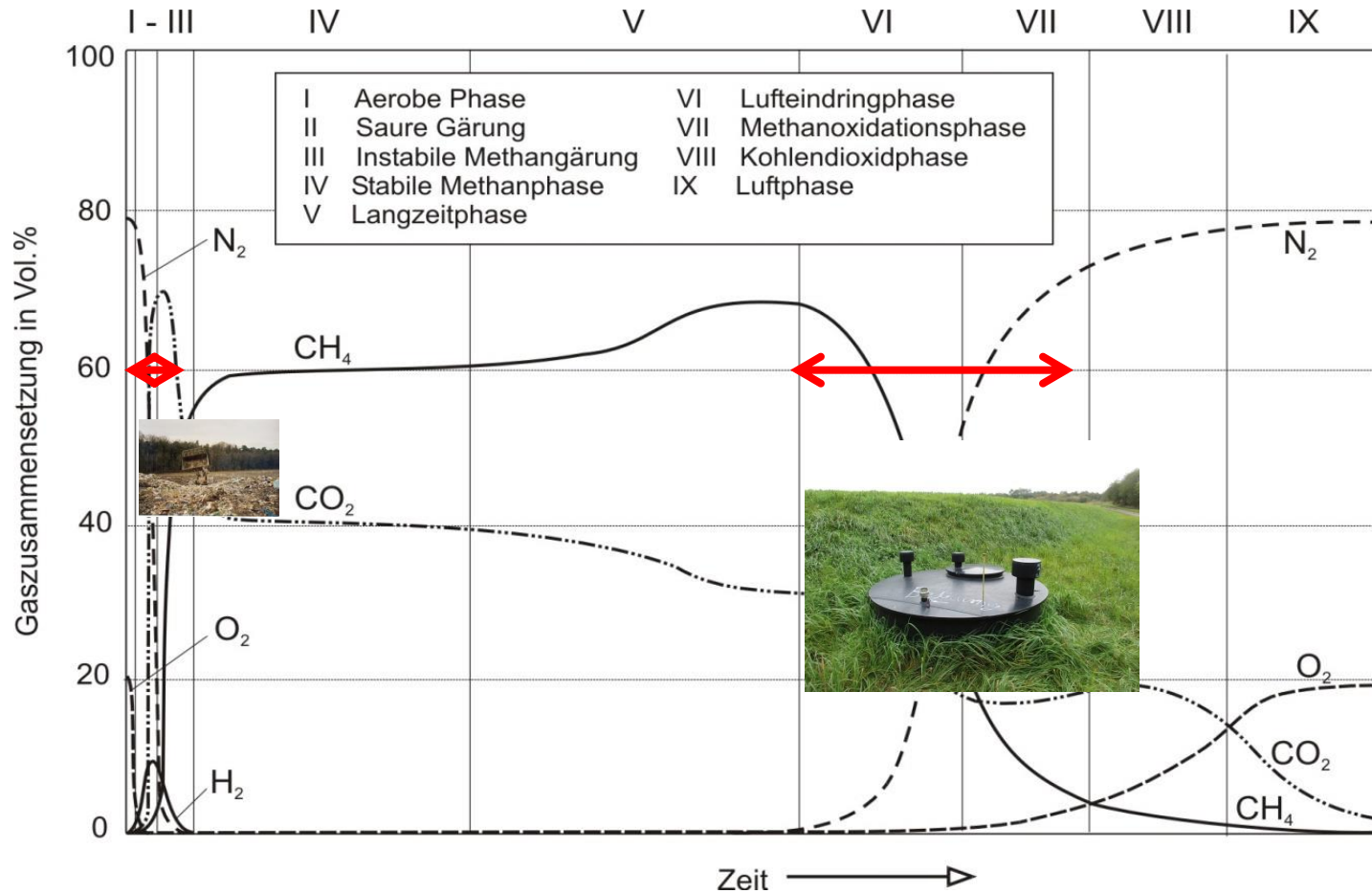


---

**Einfluss der aeroben Abbauprozesse  
Methankorrekturfaktor  $MCF = 1$ ?**







nicht maßstäblich - Gasproduktion über mehrere Jahrzehnte

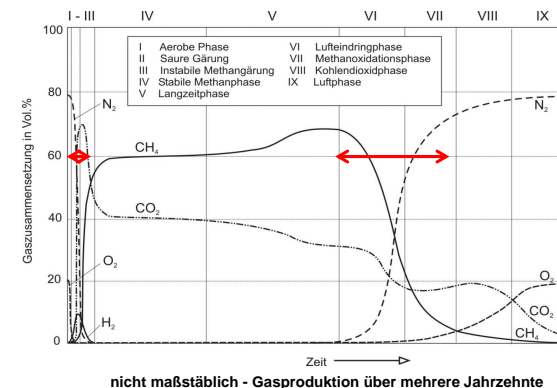


# Aerober Kohlenstoffabbau zu Beginn der Ablagerung

## Faktor Gasprognosemodell Weber (Literatur Bogon, 2005):

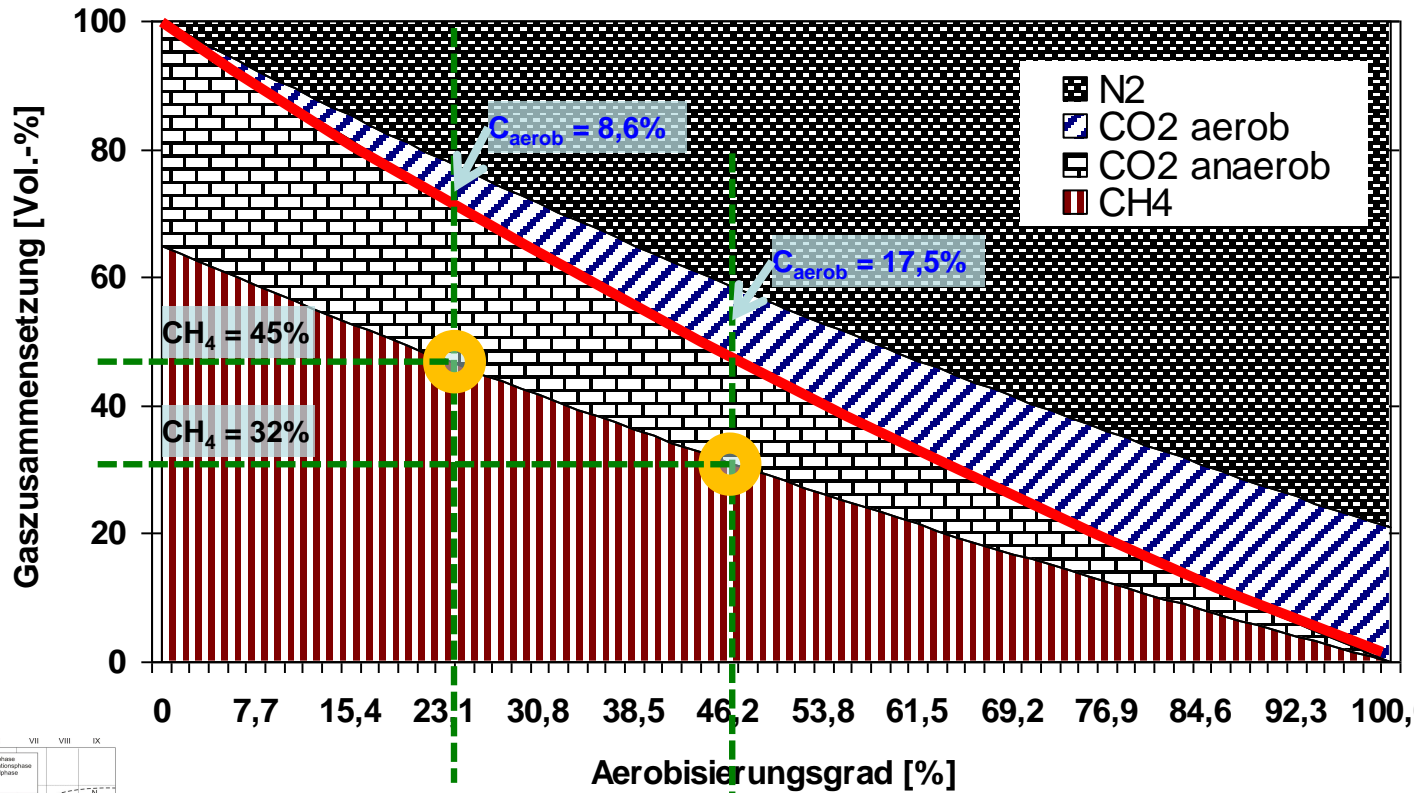
**fa0** Anfangszeitfaktor; Berücksichtigung der Gasverluste im ersten halben Jahr nach erfolgter Ablagerung durch aerobe Umsetzung

- 0,95 [-] schneller Aufbau (für Kippkantenbetrieb)
- 0,8 [-] langsamer Aufbau (für Dünnschichteinbau)





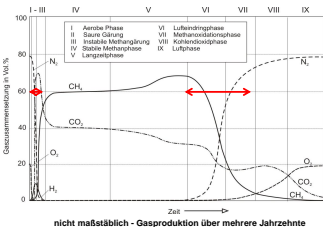
# Aerober Kohlenstoffabbau langfristig bei Ablagerung



Dt. Deponien DK II  
Betrieb / Stilllegung  
45% CH<sub>4</sub>

Dt. Deponien  
Nachsorge 32% CH<sub>4</sub>

**MCF<sub>langfristig</sub> = 0,82 – 0,91**



# Anpassung Faktor MCF

$$\text{MCF} = \text{MCF}_{\text{Beginn}} + \text{MCF}_{\text{langfristig}}$$

(Literaturauswertung und Auswertung Daten/Deponien)

**Jüngere Deponien** (überwiegend Dünnschichteinbau, derzeit in der Stilllegungsphase):

**MCF statt 1 nun 0,80 (0,71 – 0,86)**

**Ältere Deponien** (überwiegend Kippkantenbetrieb, derzeit in der Nachsorgephase):

**MCF statt 1 nun 0,75 (0,62 – 0,77)**

**Vorschlag für NIR: statt bisher 1,0 nun zumindest Reduzierung auf 0,9**

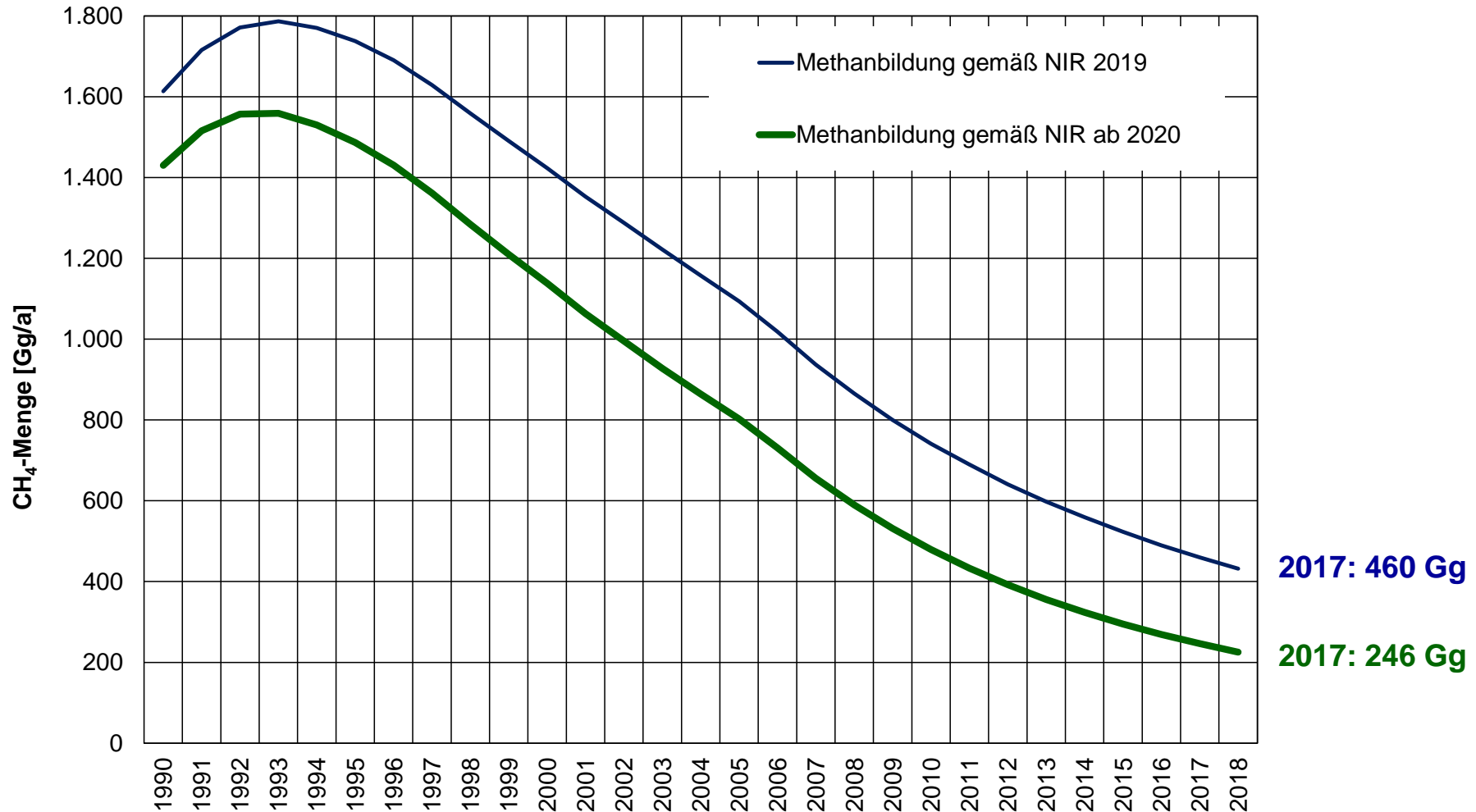


# Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien

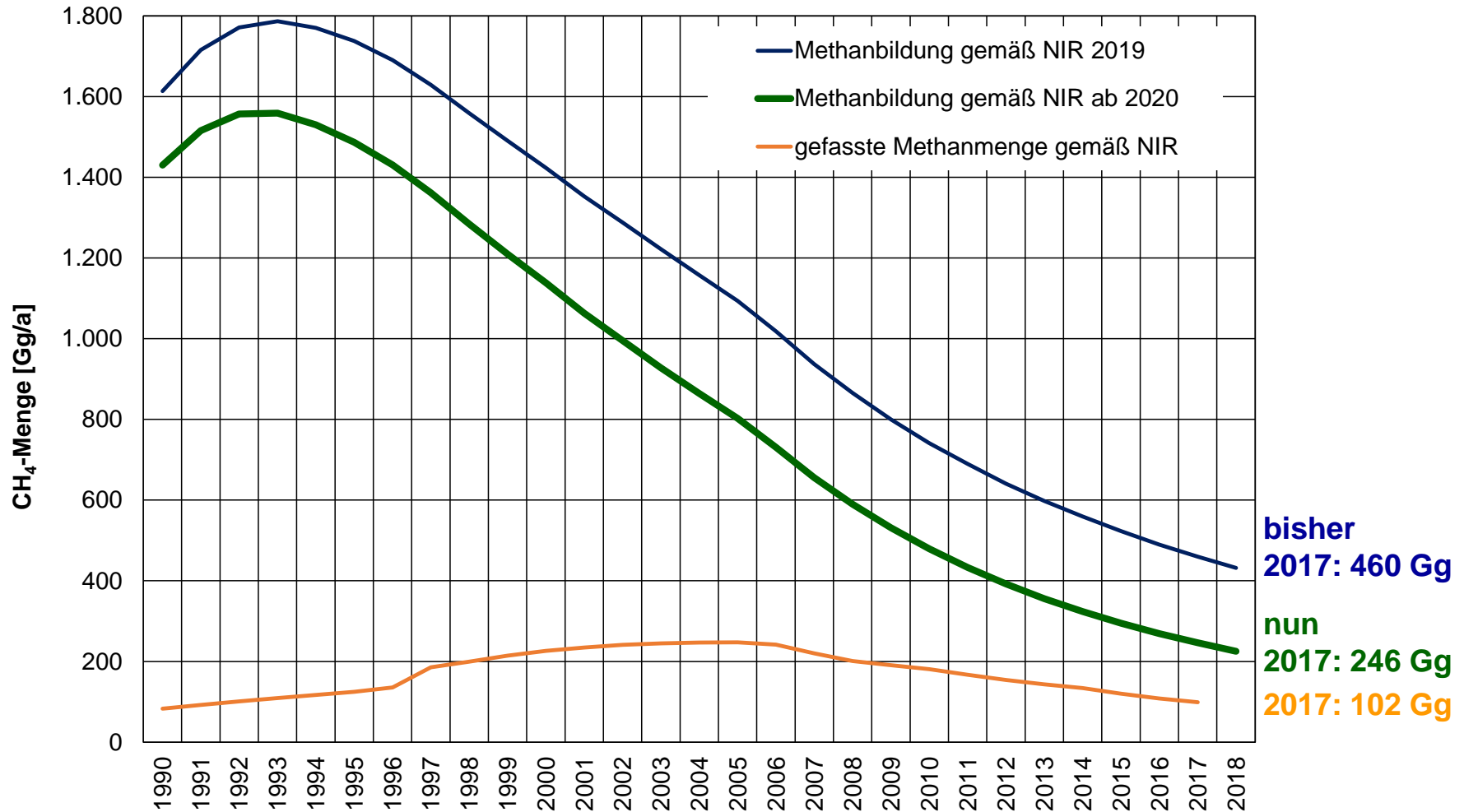
- Nationaler Inventarreport, Anlass zur Überprüfung
- Gasbildungspotenziale und Kennwerte zur Kinetik der Gasbildung
- Auswertungen zum Gashaushalt von Deponien im UFOPLAN-Vorhaben
- **Schlussfolgerungen, Ausblick**



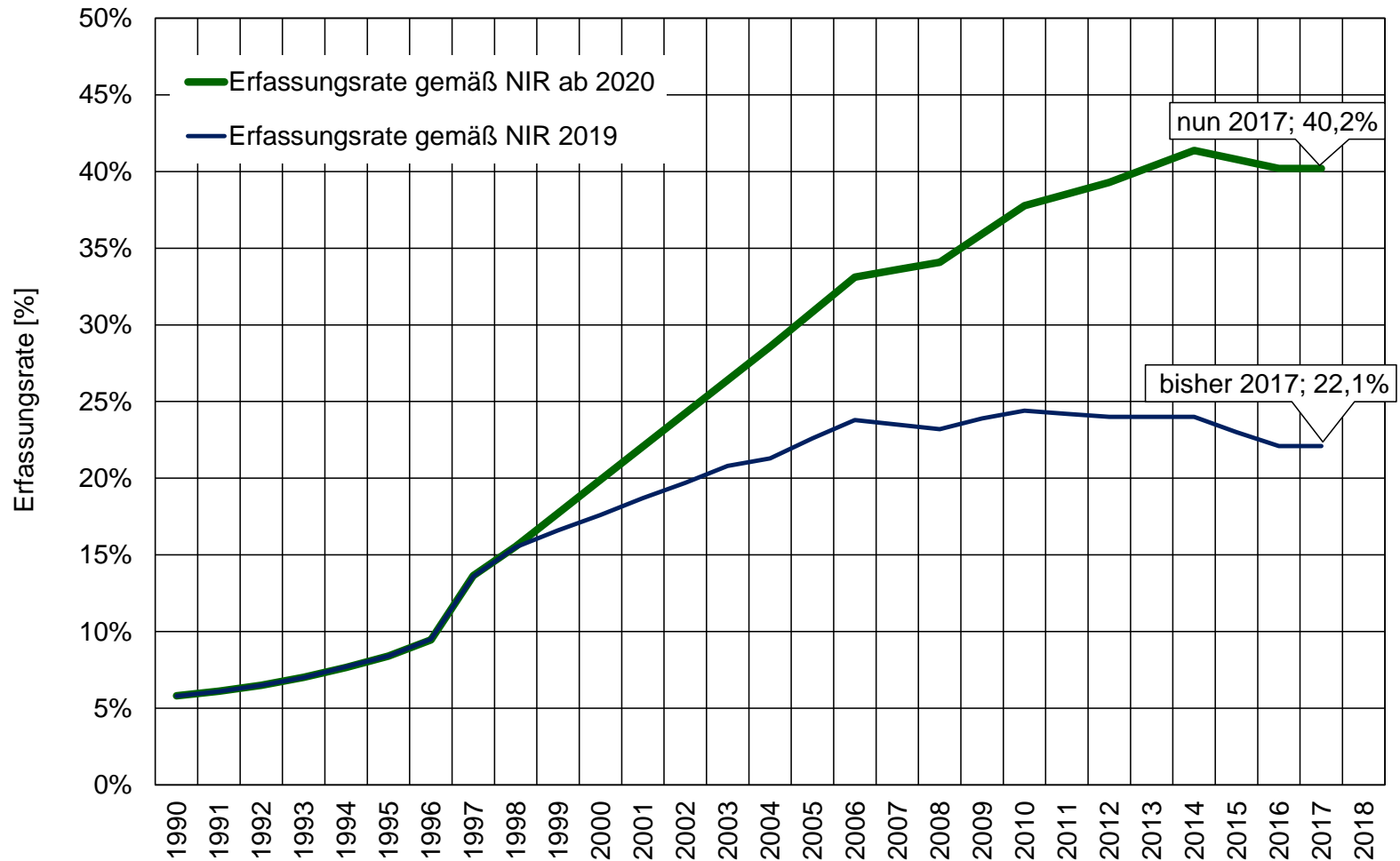
# Jährliche Methanbildung aller deutschen Deponien gemäß bisherigem Ansatz im NIR und mit modifiziertem Parameter- satz



# Jährliche Methanbildung aller deutschen Deponien gemäß bisherigem Ansatz im NIR und mit modifiziertem Parameter- satz im Vergleich zur jährlich gefassten Methanmenge



# Entwicklung der Gaserfassungsgrade aller deutschen Deponien gemäß bisherigem Ansatz im NIR und mit modifiziertem Parametersatz ab 1990



**Modifizierte Parameter zur Gasprognose und Abfallfeststoffuntersuchungen an allen untersuchten Deponien zeigen, dass das Deponierestgaspotenzial bereits deutlich geringer ist, als es nach bisherigen Ansätzen / Parametern im NIR berechnet wird.**

**Ein beträchtlicher Anteil des bioverfügbaren Kohlenstoffs wird in der Deponie nicht anaerob, sondern zunehmend aerob abgebaut, was im NIR / IPCC-Ansatz mit dessen Default-Werten (MCF = 1) bisher nicht hinreichend berücksichtigt wurde.**



Zur realistischeren Abbildung des Methanbildungspotenzials und der Methanbildung in Deponien können daher für die einzelnen organikhaltigen Abfallfraktionen (vor allem PPK, Holz) insbesondere folgende Parameter angepasst werden:

- ▶ **DOC<sub>f</sub>**
- ▶ **Halbwertszeit**
- ▶ **MCF**





# Ausblick, der schnell Gegenwart werden sollte

---

Ein im Ergebnis der Vorhabens (rechnerisch) verbesserter Gaserfassungsgrad zeigt dennoch, dass bei vielen Abfallablagerungen weiterhin Handlungsbedarf zur verbesserten Erfassung und Verwertung/Behandlung von Deponiegas und/oder Belüftung besteht.

Dazu stehen die NKI-Förderprogramme zur Verfügung:

- ▶ **Optimierung der Gasfassungssysteme zur Steigerung des Gasfassungsgrads und der Gasverwertung, neu seit 2019**
- ▶ **damit gut kombinierbar: Deponiebelüftung, seit 2013**



## Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien – Ergebnisse eines UFOPLAN-Vorhabens

**Bei Fragen zum UFOPLAN-Vorhaben:**

**Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer**

**Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann**

**Tel. 040 / 77 11 07 42**

**Email: [Heyer@ifas-hamburg.de](mailto:Heyer@ifas-hamburg.de)**

**IFAS - Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft**

***Prof. R. Stegmann und Partner***

**Schellerdamm 19 - 21**

**21079 Hamburg**

