

Allgemein

Die Datengrundlage dieses Online-Visualisierungstools stammt aus der Veröffentlichung *The Regional Nature of Circular Bioeconomy: Comparing the Availability of Residual Biomass at National, Regional and City Level* (Güldemund et al. 2023). Darin werden im Detail die Datenquellen und die Berechnungsmethoden erläutert. Einige methodische Hinweise, gegliedert nach den übergeordneten Abfallkategorien finden sich nachfolgend.

Kommunale Abfälle

Die Daten zu den kommunalen Abfällen liegen auf Kreisebene statistisch direkt vor. Daten zu den Abfallkategorien Biotonne, Garten- & Parkabfälle und Papier, Pappe & Karton (inkl. Verpackungen) sind in den Landesabfallbilanzen zu finden (SL-H 2019; LfU-BA 2019; LfU-RLP 2020). Die Daten zu den Klärschlämmen finden sich für Hessen und Bayern ebenfalls in den Landesabfallbilanzen, für Rheinland-Pfalz kann dem Statistischen Bericht zur öffentlichen Klärschlamm Entsorgung entnommen werden (SL-RLP 2019).

Landwirtschaftliche Reststoffe

Die Daten zu den landwirtschaftlichen Reststoffen basieren auf Ertrags und Flächendaten der Regionaldatenbank für Deutschland (Destatis 2023). Mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren für Feldfrüchte (Korn/Stroh und Frucht/Blätter Verhältnis und nachhaltige Entnahme (BMJ 2017; Scarlat et al. 2010; Thorenz et al. 2018) bzw. für Viehwirtschaft (Verhältnisse und Haltungsformen von Stallmist und Gülle; DBFZ Ressourcendatenbank, (Krause et al. 2020)) werden aus der Primärproduktion die nachhaltig zu produzierenden Reststoffmengen ermittelt.

Die folgende Gleichung zeigt die Berechnung des (technischen) landwirtschaftlichen Stroh- und Blattrestpotenzials pro Jahr. Für die Berechnung des theoretischen Potenzials wird die nachhaltige Abfuhrate weggelassen.

$$CR_i[t] = P_{prim,i}[t] * r_{crop,i} * s_i, \text{ with } P_{prim,i}[t] = A_i [\text{ha}] * Y_i \left[\frac{dt}{ha} \right] * 10^{-1}$$

CR	Stroh/Blattreststoffe der Kulturpflanzen i	P _{prim}	Primärerzeugnisse/-produktion
i	Kulturpflanzenart	A	Anbaufläche
r _{crop}	Verhältnis Korn/Stroh oder Frucht/Blatt	Y	Ernteerträge
s	nachhaltige Entnahmerate		

Die folgende Gleichung zeigt die Berechnung des technischen Potenzials tierartspezifischen Mists und Gülle pro Jahr. Für die Berechnung des theoretischen Potenzials wird idealtypisch nur das Haltungssystem berücksichtigt, das die größte Menge an Rückständen produziert. Die tierartspezifischen Mist- und Güllefaktoren errechnen sich aus tierartspezifischen Mist-/Güllemengen, die gemäß NUTS-1-Tieranteilen gewichtet sind. Mit Koeffizienten und einem Umrechnungsfaktor (Volumengewicht von Gülle) aus der DBFZ-Ressourcendatenbank lassen sich diese in Trockenmasse [DM] umrechnen.

$$LR_l[t] = P_{manure,l}[t] * h_{manure,l} + P_{slurry,l}[t] * h_{slurry,l}, \text{ with } P_{x,l}[t] = LIV_{prim,l}[anima] * r_{liv,x,l} \left[\frac{t DM}{anima} \right]$$

LR	Gülle/Mist der Nutztier-Gruppe	LIV _{prim}	Viehbestand/Tiere
l	Nutztier-Gruppe	r _{liv}	Viehhaltung/Mist oder Viehhaltung/Gülle Faktoren
P	Primärerzeugnisse/-produktion von Mist oder Gülle	x	Mist oder Gülle
h	Anteil der Mist- oder Güllehaltung		

Forstwirtschaftliche Reststoffe

Die forstwirtschaftlichen Reststoffe werden mithilfe von räumlichen Landbedeckungsdaten bestimmt. Aufbauend auf dem Corine Landbedeckungsdatensatz (Büttner et al. 2021) und räumlichen Informationen über Schutzgebiete, Terrain, Boden und Feuchtgebieten lassen sich die Forstflächen bestimmen. Diese dienen als Grundlage um mithilfe von Zuwachsraten (net annual increment, NAI; (BMEL 2016)), dem Verhältnis der Stammrinde zur Summe der Stammrinde (biomass expansion factor, BEF; (Teobaldelli et al. 2009)) und der maximale Entnahmerate (maximum extraction rate, MER; (BMEL 2016) und (van den Berg et al. 2010)) die forstwirtschaftliche Rückstandsmengen zu bestimmen.

Die folgende Gleichung zeigt die Berechnung des technischen Potenzials pro Jahr. Zur Berechnung des theoretischen Potenzials ist der gesamte Waldbestand (ohne Restriktionsfaktoren) für die Nutzung zu betrachten.

$$FR_f[t] = (BI_{total,f}[t] - BI_{stem,f}[t]) * MER, \quad \text{with } BI_{total,f}[t] = (A_{forest,f}[ha] * NAI_f[\frac{t}{ha*a}]) \text{ and } BI_{stem,f}[t] = \left(\frac{BI_{total,f}[t]}{BEF_f}\right)$$

FR	Forstrückstände	A	Forstfläche
f	Forsttyp (Laubwald, Nadelwald, Mischwald)	NAI	Netto-Jahreszuwachs (in Trockenmasse)
BI	Biomassezuwachs Gesamtbiomasse oder Anteil Stammrinde	BEF	Biomasse-Expansionsfaktor (Reststoff/Nicht-Reststoffverhältnis)
MER	Maximale Entnahmerate		

Abfälle aus Industrie und Service

Da Daten zu den Erzeugungsmengen industrieller Abfälle- für die dargestellte Kombination aus Abfallkategorie und Herkunftssektoren statistisch nicht auf Kreisebene vorliegen, nutzen wir Abfallfaktoren. Mit ihnen ist es möglich anhand einer statistisch verfügbaren Information (hier: steuerbarer Umsatz) zu einem Sektor auf dessen Menge an Abfällen bzw. Nebenprodukten einer bestimmten Kategorie zu schließen:

$$WG_{k,I,FRM}[kg] = WF_{k,I,GER} \left[\frac{kg}{1000 \text{ €}} \right] * TO_{I,FRM} [1000 \text{ €}]$$

WG	Abfallmenge
WF _{GER}	Abfallfaktor für Deutschland
TO	steuerbarer Umsatz
k	Abfallkategorie
I	Ökonomischer Sektor

Die Abfallfaktoren berechnen wir auf nationaler Ebene aus statistischen Daten zu industriellen Abfallmengen (Eurostat 2022) und den zugehörigen steuerbaren Umsätzen auf nationaler Ebene (Destatis 2022).

$$WF_{k,GER} \left[\frac{kg}{1000 \text{ EUR}} \right] = \frac{WG_{k,I,GER} [kg]}{TO_{I,GER} [1000 \text{ EUR}]}$$

WF _{GER}	Abfallfaktor für Deutschland
WG _{GER}	Abfallmenge in Deutschland
TO _{GER}	Steuerbarer Umsatz in Deutschland
K	Abfallkategorie
I	Ökonomischer Sektor

Daten zum steuerbaren Umsatz der spezifischen Sektoren der zur Metropolregion Frankfurt Rhein-Main gehörenden Kreise stammen aus den statistischen Landesämtern (SL-H 2020; SL-RLP 2020; SL-BA 2022). Teilweise weisen die statistischen Daten zum steuerbaren Umsatz einzelner Kreise bzw. ökonomischer Sektoren Lücken auf. Um diese zu füllen wurden Methoden angewendet, die in (Güldemund et al. 2023) im Detail beschrieben sind.

Definitionen der Abfallkategorien

Quelle	Reststoffkategorie	Beschreibung
Kommunen	Papier-, Pappeabfälle (LoW 150101 & 200101)	Papier- und Pappverpackungen (inkl. getrennte kommunale Sammlung) und getrennt gesammelte Papier- und Pappe Fraktion aus Haushalten und ähnlichen gewerblichen und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen.
Kommunen	Garten- und Parkabfälle (LoW 200201)	Biologisch abbaubarer Anteil von Garten- und Parkabfällen (einschließlich Friedhofsabfälle) aus Haushalten und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen
Kommunen	Organische Abfälle aus Haushalten (LoW 20030104)	Abfälle aus der Biotonne aus Haushalten und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen.
Kommunen	Kommunaler Klärschlamm (LoW 190805)	Anlagenbezogene Daten zur Klärschlammensorgung von öffentlichen Behandlungsanlagen. (Klärschlamm: Aus dem Abwasser abtrennbare, wasserhaltige Stoffe, ausgenommen sind Rechen-, Sieb- und Sandfanggut, jedoch einschließlich der bei der Abwasser- und Klärschlammbehandlung zugegebenen Hilfsmittel.)
Landwirtschaft	Getreidestroh	Feldrückstände von Getreide (Winterweizen, Roggen, Triticale, Gerste, Hafer, Silomais, Winterraps, Körnermais) in Form von Stroh, die nicht Teil des Primärprodukts sind, das als Lebens- oder Futtermittel verwendet wird.
Landwirtschaft	Blätter	Feldrückstände von Wurzelpflanzen (Zuckerrüben, Kartoffeln) in Form von Blättern, die nicht Teil des als Lebens- oder Futtermittel verwendeten Primärprodukts sind.
Landwirtschaft	Gülle & Mist	Tierische Rückstände (Rinder, Milchkühe, Schweine, Zuchtsauen, Schafe und Geflügel), die in der Viehwirtschaft in Form von Gülle, Flüssig- und Festmist anfallen.
Forstwirtschaft	Forstwirtschaftliche Reststoffe	Waldrestholz von gefällten Bäumen (umfasst nur die oberirdischen Holz-/Baumbestandteile in Form von Blättern, Rindenstücken und Ästen, nicht aber die unterirdischen Holz-/Baumbestandteile wie Wurzeln.)
Industrie & Service	Holzabfälle (EWC W075)	Abfallart: Holzverpackungen, Sägemehl, Holzspäne und Verschnitt, Rinden- und Korkabfälle und Holz aus der Produktion von Zellstoff und Papier; Holz aus dem Bau und Abbruch von Gebäuden; getrennt gesammelte Holzabfälle; Herkunfts-Wirtschaftszweige: Holzverarbeitung, Papier- und Zellstoffindustrie und Abbruch von Gebäuden.
Industrie & Service	Papier- und Pappeabfälle (EWC W072)	Abfallart: Papier, Pappe und Kartonage; Papier-, Pappe- und Kartonage-Abfälle aus der Sortierung und getrennten Sammlung; Herkunfts-Wirtschaftszweige: getrennte Sammlung (mechanische Abfallbehandlung, getrennt gesammelte Fraktion)
Industrie & Service	Pflanzliche Abfälle (EWC W092)	Abfallart: pflanzliche Abfälle aus der Lebensmittelherstellung und -verarbeitung, einschließlich Wasch- und Reinigungsschlämme; herkunftswirtschaftszweige: Lebensmittelproduktion (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei; Aufbereitung und Verarbeitung von Früchten, Gemüse, Getreide, Speiseöle, Kakao, Kaffee, Tee und Tabak, Konservenherstellung, Produktion von Hefe und Hefeextrakt, Melasse-Aufbereitung und -fermentation, Zuckerverarbeitung, Milchprodukt-Industrie, Back- und Süßwarenindustrie, Produktion von alkoholischen und nicht-alkoholischen Getränken, getrennt gesammelte Fraktionen)
Industrie & Service	Tierische und pflanzliche Lebensmittelabfälle (EWC W091)	Abfallart: tierische Abfälle von Nahrungsmittelzubereitungen und -erzeugnissen, einschließlich Wasch- und Reinigungsschlämme, gemischte Abfälle von Nahrungsmittelzubereitungen und -erzeugnissen, einschließlich biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle und Speiseöle und -fette; Herkunftswirtschaftszweige: Lebensmittelherstellung (Zubereitung und Verarbeitung von Fleisch, Fisch und anderen Lebensmitteln tierischen Ursprungs, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei, Milchprodukt-Industrie, getrennt gesammelte Fraktionen)
	Tierfäkalien, Urin und Mist (EWC W093)	Abfallart: Tierfäkalien, Urin und Mist, einschließlich verdorbenen Strohes Haupt-Herkunftswirtschaftszweige: Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei
Industrie & Service	Gewöhnliche Schlämme (EWC W11)	Abfallart: Schlämme aus der Abwasserbehandlung von kommunalen Abwässern und organischen Schlämmen aus der Lebensmittelzubereitung und -verarbeitung; Haupt Herkunftswirtschaftszweige: Abwässer aus privaten Haushalten und Industriezweigen mit organischen Abwässern (Zellstoff-, Papier- und Pappe-Produktion, Zubereitung und Verarbeitung von Fleisch und Fisch, Aufbereitung und Verarbeitung von Früchten, Gemüse, Getreide, Speiseöle, Kakao, Kaffee, Tee und Tabak, Konservenherstellung, Produktion von Hefe und Hefeextrakt, Melasse-Aufbereitung und -fermentation, Zuckerverarbeitung, Milchprodukt-Industrie, Back- und Süßwarenindustrie, Produktion von alkoholischen und nicht-alkoholischen Getränken, Abwasserbehandlungsanlagen, Aufbereitung von Trink- und Industrierwasser.

Literaturverzeichnis

BMEL (2016): Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ErgebnisseBWI2012.html>, zuletzt aktualisiert am 24.12.2016, zuletzt geprüft am 07.06.2023.

BMJ (26.05.2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen 2. Düngeverordnung - DÜV, vom last amended by Article 97 of the Act of 10 August. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/.

Büttner, G.; Kosztra, B.; Maucha, G.; Pataki, R.; Kleeschulte, S.; Hazeu, G. W. et al. (2021): Copernicus Land Monitoring Service - CORINE Land Cover. User Manual. Hg. v. European Environmental Agency. Copernicus Land Monitoring Service.

Destatis (2022): Umsatzsteuerpflichtige, Steuerbarer Umsatz, Umsatzsteuer (Voranmeldungen): Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (WZ2008 1-5-Steller Hierarchie). Statistisches Bundesamt (Destatis) (73311-0002). Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=73311-0002&bypass=true&levelindex=0&levelid=1662132070710>.

Destatis (2023): Regionaldatenbank Deutschland. Anbau auf dem Ackerland in landwirtschaftlichen Betrieben nach Fruchtarten - Jahr - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte. 41141-02-02-4. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter <https://www.regionalstatistik.de/genesis//online?operation=table&code=41141-02-02-4>, zuletzt aktualisiert am 2023, zuletzt geprüft am 28.06.2023.

Eurostat (2022): Dataset "Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity". Online data code: ENV_WASGEN. Eurostat - statistical office of the European Union. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASGEN/, zuletzt aktualisiert am 16.06.2022, zuletzt geprüft am 02.09.2022.

Güldemund, Almut; Schüngel, Jan; Schebek, Liselotte; Schaldach, Rüdiger; Zeller, Vanessa (2023): The Regional Nature of Circular Bioeconomy: Comparing the Availability of Residual Biomass at National, Regional and City Level. Preprint. In: *Social Science Research Network*. DOI: 10.2139/ssrn.4517122.

Krause, Tim; Mantau, Udo; Mahro, Bernd; Noke, Anja; Richter, Felix; Raussen, Thomas et al. (2020): Nationales Monitoring biogener Reststoffe, Nebenprodukte und Abfälle in Deutschland Teil 1 : Basisdaten zu Biomassepotenzialen.

LfU-BA (2019): Hausmüll in Bayern. Bilanzen 2018. Informationen aus der Abfallwirtschaft. Hg. v. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg. Online verfügbar unter <https://www.abfallbilanz.bayern.de/doc/2018/Abfallbilanz2018.pdf>, zuletzt geprüft am 25.10.2022.

LfU-RLP (2020): Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz 2018. Unter Mitarbeit von Landesamt für Umwelt, Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH und Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH. Hg. v. Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten. Mainz. Online verfügbar unter https://mkuem.rlp.de/fileadmin/mulewf/Themen/Klima-_und_Ressourcenschutz/Kreislaufwirtschaft/Abfallbilanz/Landesabfallbilanz_Rheinland_Pfalz_2018_Corporate_Design.pdf, zuletzt geprüft am 25.10.2022.

Scarlat, Nicolae; Martinov, Milan; Dallemand, Jean-François (2010): Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: potential and limitations for bioenergy use. In: *Waste management (New York, N.Y.)* 30 (10), S. 1889–1897. DOI: 10.1016/j.wasman.2010.04.016.

SL-BA (2022): Umsatzsteuerstatistik. Kreis, Steuerpflicht., steuerb.Umsatz, Umsatzsteuer, abzieh.Vorsteuer, Umsatzsteuer-Vorausz., Wirtschaftszw.(WZ 2008),Jahr (ab 2009). 73311-002s. Online verfügbar unter <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/%20table/73311-002s#astructure>, zuletzt geprüft am 14.09.2022.

SL-H (2019): Abfallmengenbilanz des Landes Hessen für das Jahr 2018. Unter Mitarbeit von Hessisches Statistisches Landesamt und Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. Hg. v. Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Hessisches Statistisches Landesamt. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-07/abfallmengenbilanz_2018.pdf, zuletzt geprüft am 25.10.2022.

SL-H (2020): Statistische Berichte. Umsatzsteuerstatistik 2018. Kennziffer: L IV 1 - j/18. Hessisches Statistisches Landesamt. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/HEHeft_mods_00010439, zuletzt geprüft am 13.09.2022.

SL-RLP (2019): Statistische Berichte. Öffentliche Klärschlamm Entsorgung 2018. Q I - j/18. Hg. v. Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz. Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz. Bad Ems. Online verfügbar unter https://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/berichte/Q/1063/Q1063_201800_1j_K.pdf.

SL-RLP (2020): Statistische Berichte. L IV - j/12 Kennziffer: L4013201800. Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz. Bad Ems. Online verfügbar unter https://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/berichte/L/4013/L4013_201800_1j_K.pdf, zuletzt geprüft am 14.09.2022.

Teobaldelli, Maurizio; Somogyi, Zoltan; Migliavacca, Mirco; Usoltsev, Vladimir A. (2009): Generalized functions of biomass expansion factors for conifers and broadleaved by stand age, growing stock and site index. In: *Forest Ecology and Management* 257 (3), S. 1004–1013. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.11.002.

Thorenz, Andrea; Wietschel, Lars; Stindt, Dennis; Tuma, Axel (2018): Assessment of agroforestry residue potentials for the bioeconomy in the European Union. In: *Journal of Cleaner Production* 176, S. 348–359. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.143.

van den Berg, D.; Vis, M. W.; Anttila, P.; Böttcher, H.; Dees, M.; Domac, J. et al. (2010): BEE - Harmonization of biomass resource assessments. Online verfügbar unter https://www.ifeu.de/publikation/bee-harmonization-of-biomass-resource-assessments/?sword_list%5B0%5D=BEE&sword_list%5B1%5D=-&sword_list%5B2%5D=Harmonization&sword_list%5B3%5D=of&sword_list%5B4%5D=biomass&sword_list%5B5%5D=resource&sword_list%5B6%5D=assessments, zuletzt geprüft am 05.07.2023.