



Nachhaltigkeit bei Deponien und Ablagerungen

Bilanzierung, Bewertung und Reduktion von Treibhausgasemissionen
entlang des Lebenszyklus einer Deponie

Dipl. -Ing. Biotechn.
Juergen Forsting

Konstantin Meier
M.Sc.

November 2024

**CDM
Smith**

Einführung Nachhaltigkeit

Nach Schmieder (2023) haben jüngere Berichte der Klimaforschung gezeigt, dass sich seit dem „Aufkommen des Paradigmas der Nachhaltigkeit in den 1980-iger Jahren die Probleme eher verschärft (haben). Der Diskurs der Nachhaltigkeit sollte als Teil der allgemeinen Zerstörungsprozesse zu begreifen sein. Das Konzept Nachhaltigkeit verleiht dem Wirtschaftswachstum ein Qualitätssiegel dem nicht Selbstbegrenzung, sondern dauerhafter Anstieg eingeprägt ist“.

Definition Nachhaltigkeit Was verstehen wir darunter ?

BRUNDTLAND-Bericht von 1987:

„Nachhaltige Entwicklung ist, wenn es gelingt, die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generationen zu erfüllen, ohne dabei die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“

Zentral für dieses Nachhaltigkeitsverständnis ist der Begriff „Bedürfnisse“.

Was ist hier mit Bedürfnissen gemeint ?

Z. B. erfüllen Bauwerke bestimmte Bedürfnisse, indem sie z. B. eine **Infrastruktur zum Schutz, Ver- und Entsorgung** oder **Mobilität, Wohn- und Arbeitsraum, einen Ort der Bildung, Kultur oder Gesundheit** zur Verfügung stellen.

Bei der Verwendung des Begriffes Nachhaltigkeit sollte nicht außer acht gelassen werden, dass in heutigen Zeiten der Begriff ressourcenschonend zutreffender ist.

Einordnung der Nachhaltigkeit

- Für eine Nachhaltigkeitsbetrachtung ist es deshalb zentral, eine Vorstellung von einem verträglichen Maß für den Verbrauch an Ressourcen und die verursachten Belastungen der Umwelt zu entwickeln.

Ein üblicher Ausdruck für ein solches verträgliches Maß sind die **planetaren Belastungsgrenzen**.

Nachhaltigkeitsziele definieren unter Berücksichtigung des

- Wirtschaftlichen, also ökonomischen Rahmens,
- und der ökologischen sowie
- soziale Indikatoren.

Die beiden letztgenannten werden zurzeit noch nicht ausreichend als Nachhaltigkeitsziel berücksichtigt.

Einordnung Nachhaltigkeit in Normen, Methoden & Regelwerke



Grundlagen zur Bestimmung der Nachhaltigkeit

1. Internationale Ebene: Ausarbeitung von 17 SGD (Sustainable Development Goals) – Definition von Zielen für nachhaltige Entwicklung – Zielsetzung im Jahr 2030
2. Jahr 2015 – internationale Agenda dient als Grundlage der Nachhaltigkeitspolitik der Bundesregierung auf nationaler Ebene – Definition der Zeile s. Folie zuvor - drei dabei gleichbeliebend nebeneinanderstehende Säulen

Definition und Einordnung Deponie-, Bau- und Geotechnik

- Einige der zuvor in den Nachhaltigkeitszielen aufgeführten 17 SDG (Sustainable Development Goals) lassen sich unmittelbar auf den Bereich Bau- und Deponietechnik anwenden;

Darunter fallen die Ziele 3, 6, 7, 9, 11, 12, 13 und 15. Diese Ziele sind grundsätzlich als anstrebenswert anzusehen;

Die Umsetzung obliegt dann nun wieder den reinen Willenserklärungen einzelner Institutionen, Regierungen und Interessenverbänden;

Somit kann die eigentliche Umsetzung dieser Ziele und Erwartungen über nationale Regelungen erfolgen.



Vorstellung EU Taxonomie

- Auf europäischer Ebene wird aus der vorangestellten Agenda das Klassifizierungssystem mit der EU-Taxonomie mit Benennung der Umweltziele umgesetzt.

Zur Beschreibung der grundsätzlichen Nachhaltigkeit, also der Taxonomiefähigkeit eines Bauwerkes, hier der Deponie, sind drei entscheidende Aspekte hervorzuheben:

- Wie ist der Beitrag zum Erreichen min. eines der sechs genannten Umweltziele ?;
- gibt es keine erheblichen Beeinträchtigung(en) anderer genannter Umweltziele ?;
- Berücksichtigung der Einhaltung von sozialen Mindeststandards.

Werden diese drei Aspekte ausreichend berücksichtigt, so ist eine Taxonomiekonformität gegeben.

| EU-Umweltziele | Beschreibung |
|---|---|
| Klimaschutz | Maßnahmen, die direkt oder indirekt zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen |
| Anpassung an den Klimawandel | Maßnahmen, die dazu beitragen, die Risiken und Auswirkungen des Klimawandels zu verringern |
| Nachhaltige Nutzung & Schutz von Wasser- und Meeresressourcen | Maßnahmen, die den Wasserverbrauch reduzieren, die Wasserqualität verbessern und die nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen sicherstellen |
| Überführung zur Kreislaufwirtschaft | Maßnahmen, die zur Förderung von Ressourceneffizienz und Abfallvermeidung beitragen |
| Vermeidung & Verminderung der Umweltverschmutzung | Maßnahmen, die darauf abzielen, die Emission von Schadstoffen in Luft, Wasser und Boden zu reduzieren |
| Schutz & Wiederherstellung der Biodiversität und der Ökosysteme | Maßnahmen, die den Erhalt der biologischen Vielfalt und die Wiederherstellung geschädigter Ökosysteme unterstützen |

Quelle: EU-Umweltziele nach (Heibrock, Herzog, 2024)

Übergeordnete Herangehensweise



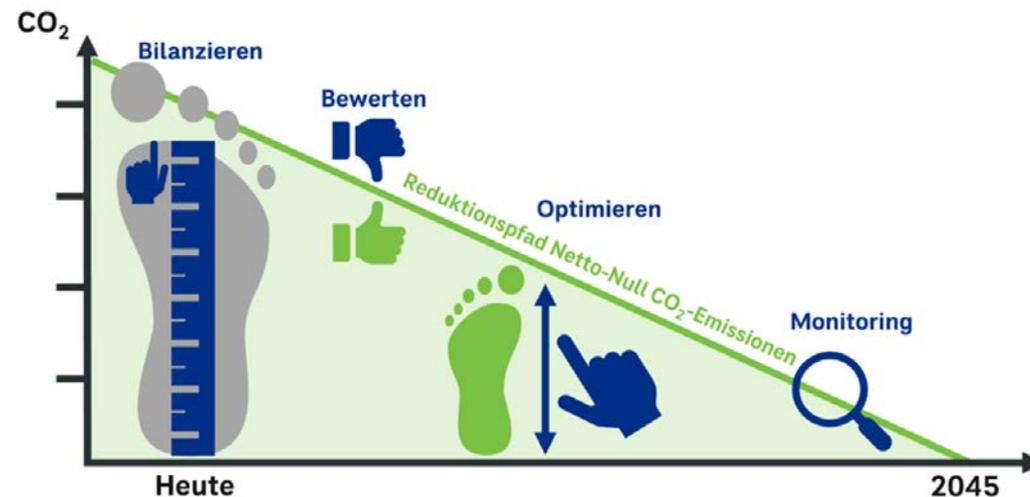
Nachhaltigkeitsthemen/ Leistungen CDM Smith (Unterteilung nach EU-Taxonomie)

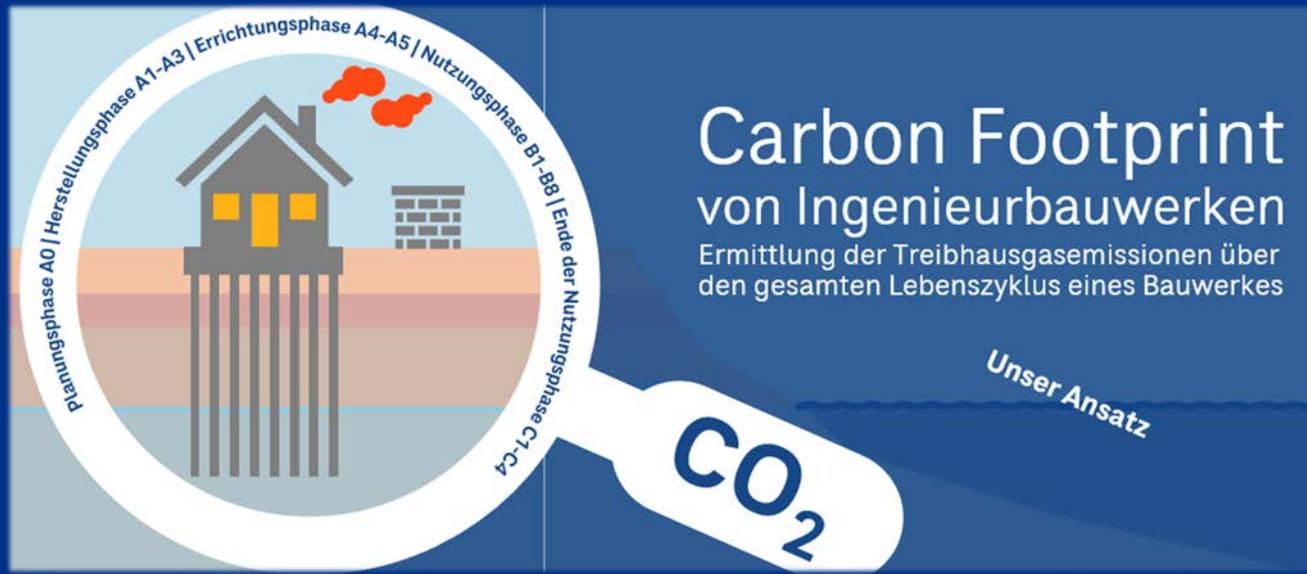


Praktische Ansätze zur Umsetzung Nachhaltigkeit

Exemplarisch für eine praktisch umsetzbare Vorgehensweise bei der Berücksichtigung angesetzter Ziele in der Nachhaltigkeit im Deponiebau (Deponietechnik) können für die Bereiche Planung, Errichtung, Nutzung und Rückbau von Bauwerken folgende Vorschläge ausgearbeitet werden:

1. Bestimmung der Ziele bei der Betrachtung der Nachhaltigkeit auf der Ebene von nationalen und internationalen Gesichtspunkten – Konkretisierung des Verständnisses des Begriffes Nachhaltigkeit im Bereich Deponiebau/ Deponietechnik (im Hinblick der Ziele der SDG und der EU-Taxonomie);
2. Bestimmung der Nachhaltigkeitsaspekte der verschiedenen Lebenszyklusphasen einer Deponie, eines technischen Bauwerkes – LCA;
3. Verwendung der Lebenszyklusanalyse (Life-Cycle-Analysis – LCA) zur Bestimmung der projektspezifischen Nachhaltigkeit.





Praktischer Ansatz Ermittlung LCA

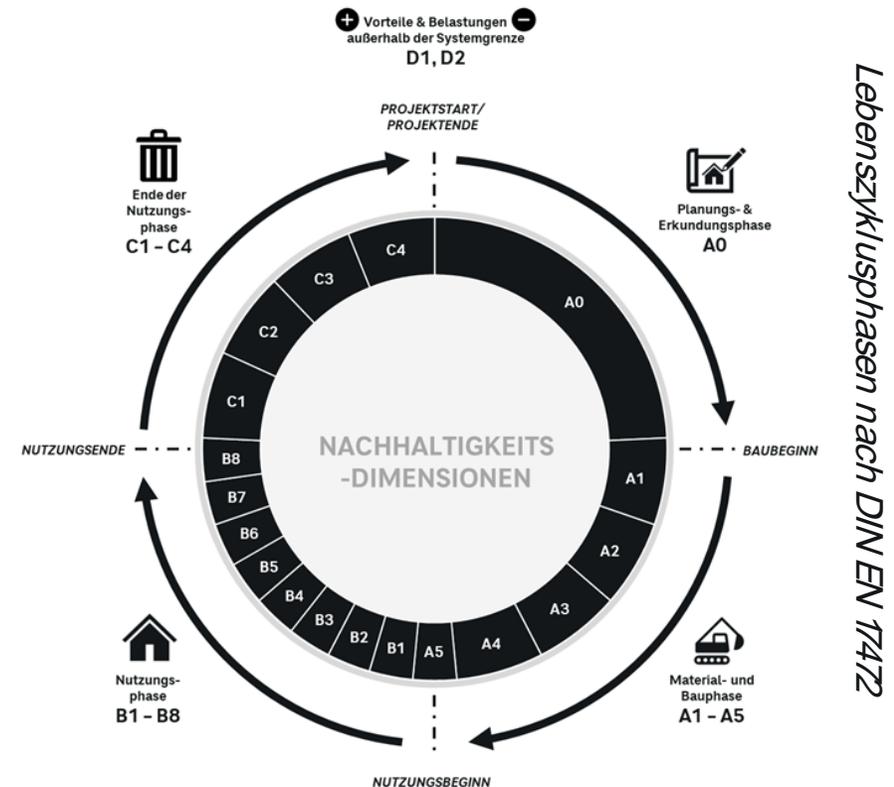
Angewandte Normen und Methoden auf nationaler Ebene

- DIN EN 15643:2021-12 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken sowie
DIN EN 17472:2022-09 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Nachhaltigkeitsbewertung von Ingenieurbauwerken – Rechenverfahren

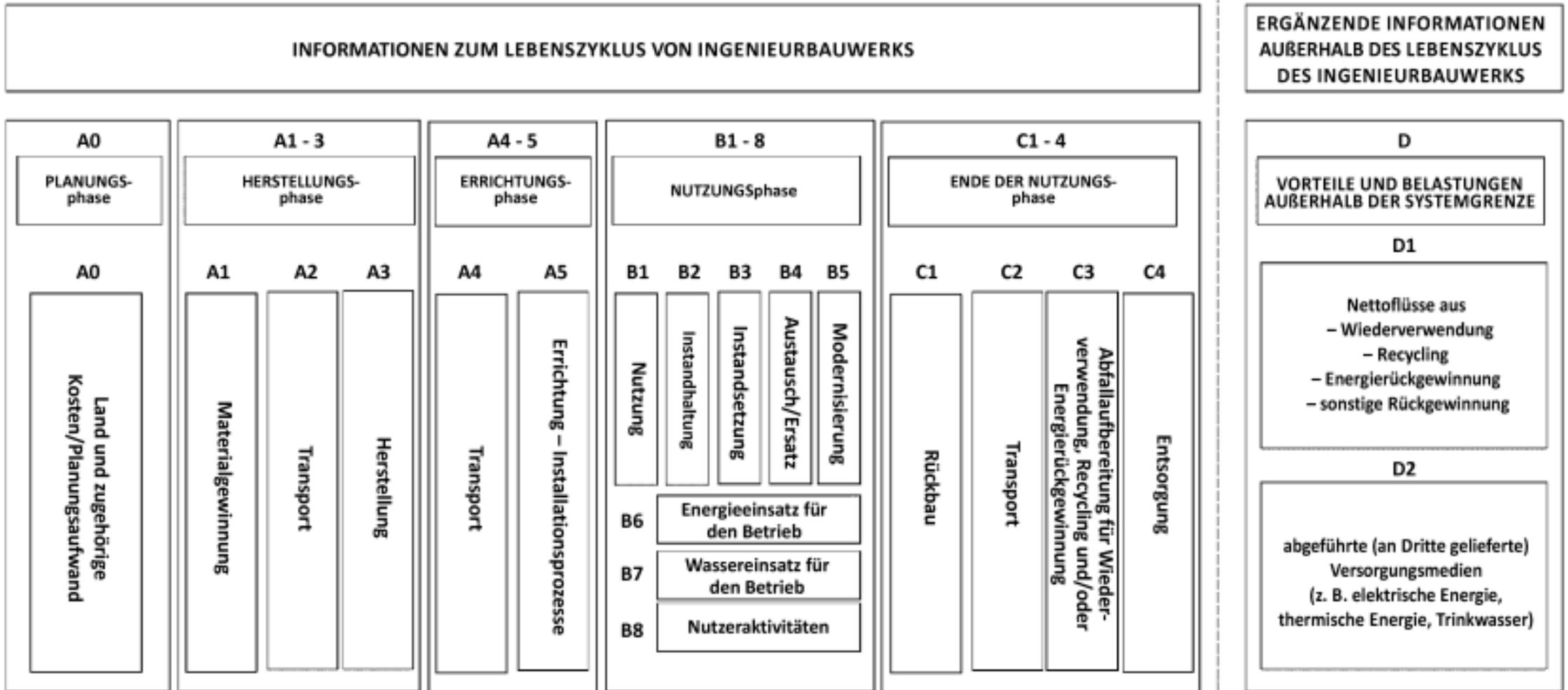
Es lassen sich grundsätzlich die in den Regelwerken aufgeführten Prinzipien auch auf Deponiebauwerke überführen.

Bestimmung gesamter Lebenszyklus des Bauwerkes

- Planungs- & Erkundungsphase (A0);
- Produkt/Material- und Bauphase (A1 – A5);
- Nutzungsphase (B1 – B8);
- Ende der Nutzungsphase (C1 – C4);
- Vorteile & Belastungen (D1 & D2)

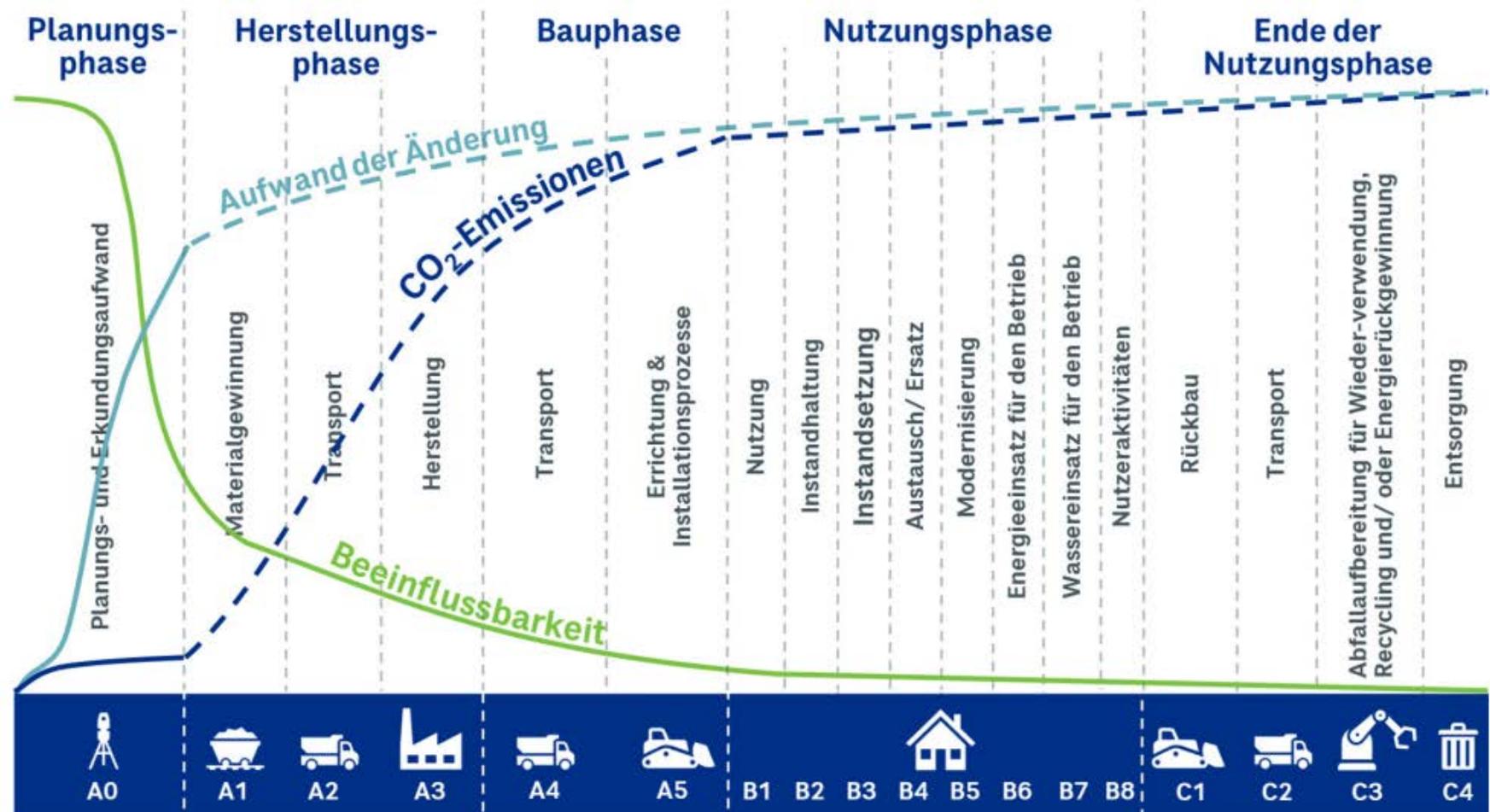


Definition und Übertragung der Lebenszyklusphasen nach DIN EN 17 472 auf den Deponiekontext



Nachhaltig planen von Anfang an

Durch integrale Planungsansätze und mit Hilfe von Lebenszyklusanalysen lassen sich die Treibhausgasemissionen von Bauwerken signifikant reduzieren. Grundlage dafür ist die sachgerechte Bilanzierung und Dokumentation aller Emissionen, die im Zusammenhang mit der Errichtung, dem Betrieb und dem späteren Rückbau von Gebäuden und Infrastrukturen stehen.



Das Beispiel - Deponieerweiterung



Treibhausgasbilanzierung am Beispiel einer Deponieerweiterung

Ausgangssituation:

- Planung einer Deponieerweiterung (Basis-, Zwischen- und Oberflächenabdichtung); klassische Herangehensweise nach den LPH der HAOI;

Zusätzlich ausführliche Quantifizierung von Massen- und Energieströmen einzelner Gewerke;

Im Anschluss daran Recherche und Auswahl repräsentativer, klimabezogener Informationen

- aus Datenbanken, online zugänglich
- EPDs (Environmental Product Declaration)
- sowie Literaturangaben (z. B. auch nach Egloffstein et al. 2006)

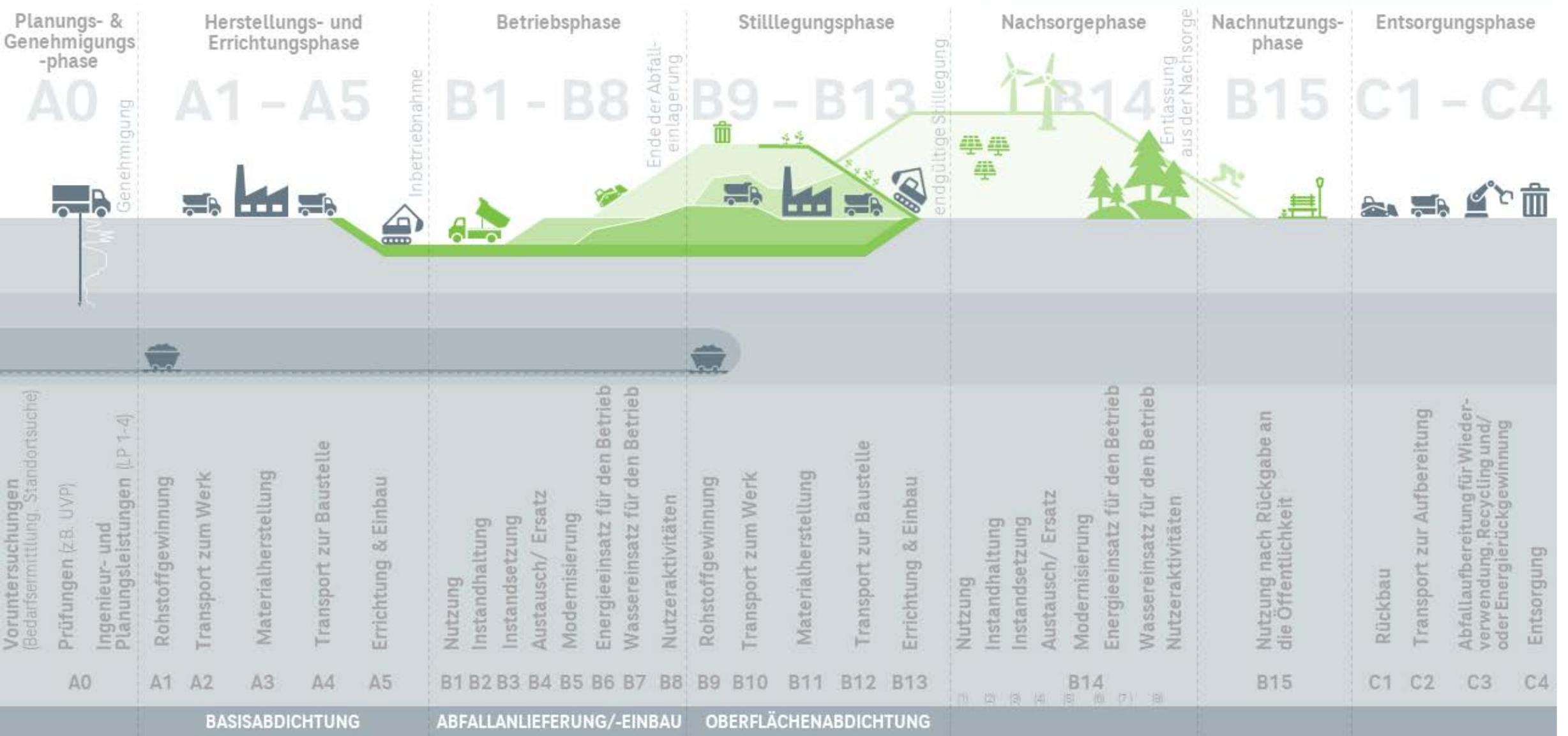
Abschließende Berechnung der THG-Emissionen, spezifisch nach Teilobjekten und Lebenszyklusphasen für die Module der Materialgewinnung und –herstellung, Transport und Errichtungsprozesse - A1 bis A5 (zzgl. B8 – B13 nach eigener Darstellung der Lebenszyklen für Deponiebauwerke)

Weitere Module waren nicht Teil der Leistungen.

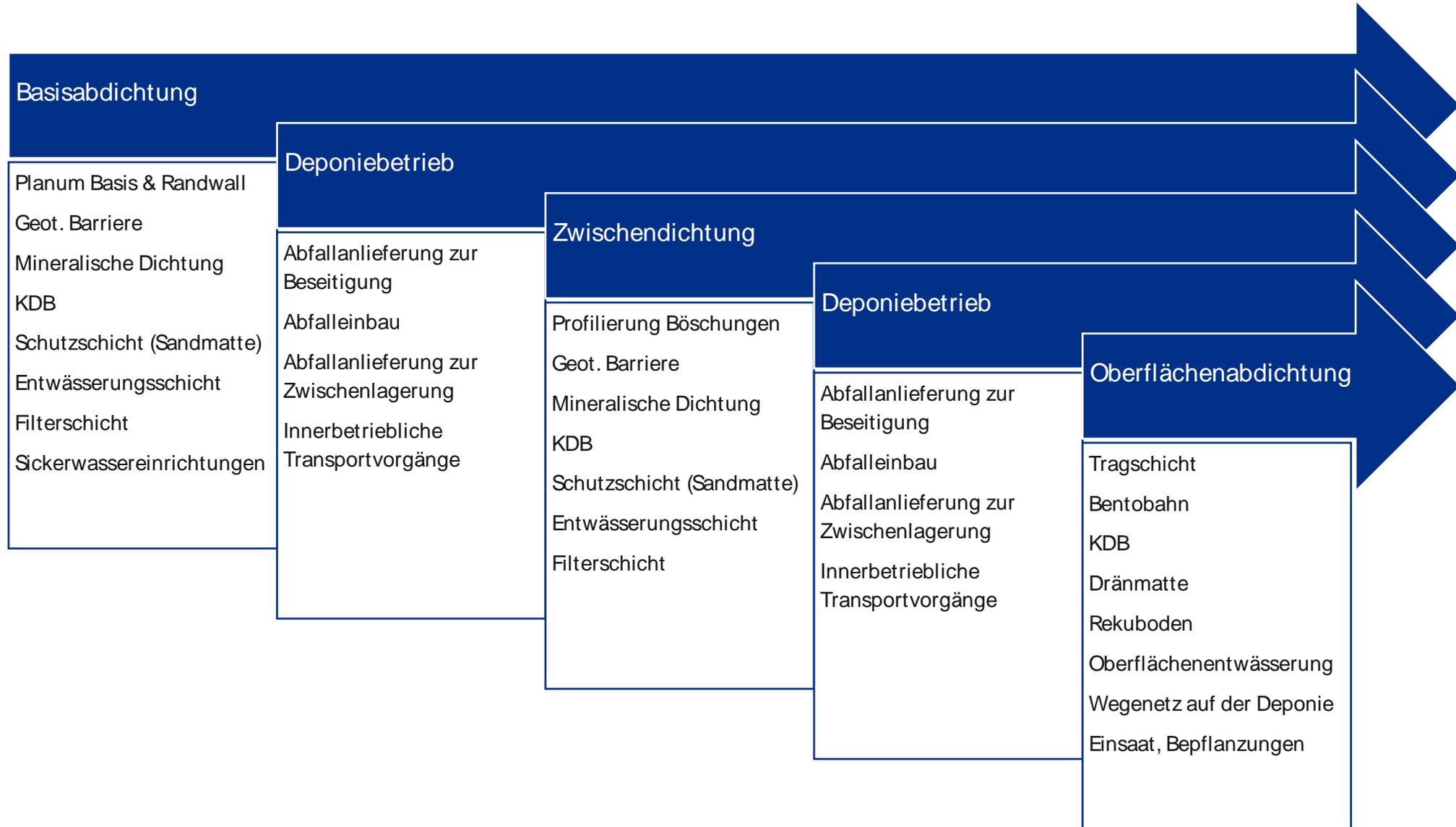
Lebenszyklusanalyse - Deponien

Vorteile & Belastungen
 + außerhalb Systemgrenze -

- D1 Nettoflüsse aus Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung
- D2 abgeführte Versorgungsmedien (elektr./therm. Energie, Trinkwasser)



Aufgliederung der Deponieerweiterung in ihre Teilobjekte



Erste Ergebnisse



Bewertungsmatrix der LCA anhand einzelner Gewerke

| Deponiephase | Oberkategorie | Unterkategorie | Verfahren | Lebenszyklusphasen nach DIN 17472 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---|--|-------------------|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | C1 | C2 | C3 | C4 | D1 |
| Planung | Planung | Planfeststellung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Qualitätssicherungsplan | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Errichtung | Herstellung Basisabdichtung | Geologische/geotechnische Barriere | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Mineralische Dichtung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Kunststoffdichtungsbahn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Schutzvlies | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Mineralische Entwässerungsschicht | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Trennvlies | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Herstellung Entwässerung | Herstellung Entwässerung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ablagerung/Betrieb | Abfallablagerung & schichtenweiser Einbau | Herstellung Betriebsgebäude | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Herstellung Waage | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Herstellung Verkehrsflächen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Abfallanlieferung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stilllegung | Herstellung Gasfassung | Schichtenweiser Abfalleinbau | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Planung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Gaspotenzialuntersuchungen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Bohrung Gasbrunnen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Errichtung Gasbrunnen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Erstellung Gasunterstationen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Aufstellungs Gasbehandlungsanlage | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Erdarbeiten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Leitungsbau (Verbindung/Anschluss der Komponenten) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Oberflächenabdichtung | Ausgleichsschicht | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Geosynthetische Tondichtungsbahn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Kunststoffdichtungsbahn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Nachsorge | Betrieb und Wartung erf. Deponieeinrichtungen | Dränmate | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rekultivierungsschicht | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Regelmäßige Überwachung | | Sickerwasserfassung/-aufbereitung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Deponiegasfassung/-behandlung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Grundwasserstände/-beschaffenheit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Oberflächenwassermenge/-zusammensetzung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Sickerwassermenge/-zusammensetzung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Deponiegasmenge/-zusammensetzung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nutzung erzeugter Energie | | Wirksamkeitskontrolle der Entgasung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Setzungsmessungen/Stabilitätsuntersuchungen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prüfung der Entwässerungsleitungen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Dichtungskontrolle | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rückbau Deponie | Wärmeauskopplung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Stromerzeugung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | KWK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Deponiefläche zur Erzeugung von EE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Kompensationsflächen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Urban Mining auf Deponien | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Rückbau Deponie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | CH4-Emissionen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | CO2-Emissionen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | CO2-Emissionsminderung durch CH4-Verbrennung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

THG-Bilanzierung der Teilobjekte am Beispiel einer Entwässerungsschicht

- A1-A3 Rohstoffgewinnung, Transport zum Werk Materialherstellung
 - Mengenermittlung (Volumen, Dichte, Masse)
 - → Recherche nach GWP in EPD's, Datenbanken oder eigener Ansatz
 - → Bezug der spezifischen GWP (Materialgewinnung Kies hier $0,0026 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{kg}_{\text{Kies}}$ (Quelle: Ökobaudat)) auf die ermittelte Menge an Material
 - → Ergebnis ca. $139,5 \text{ t}_{\text{CO}_2}$ für 58.000 m^2 Kies-Entwässerungsschicht

THG-Bilanzierung der Teilobjekte am Beispiel einer Entwässerungsschicht

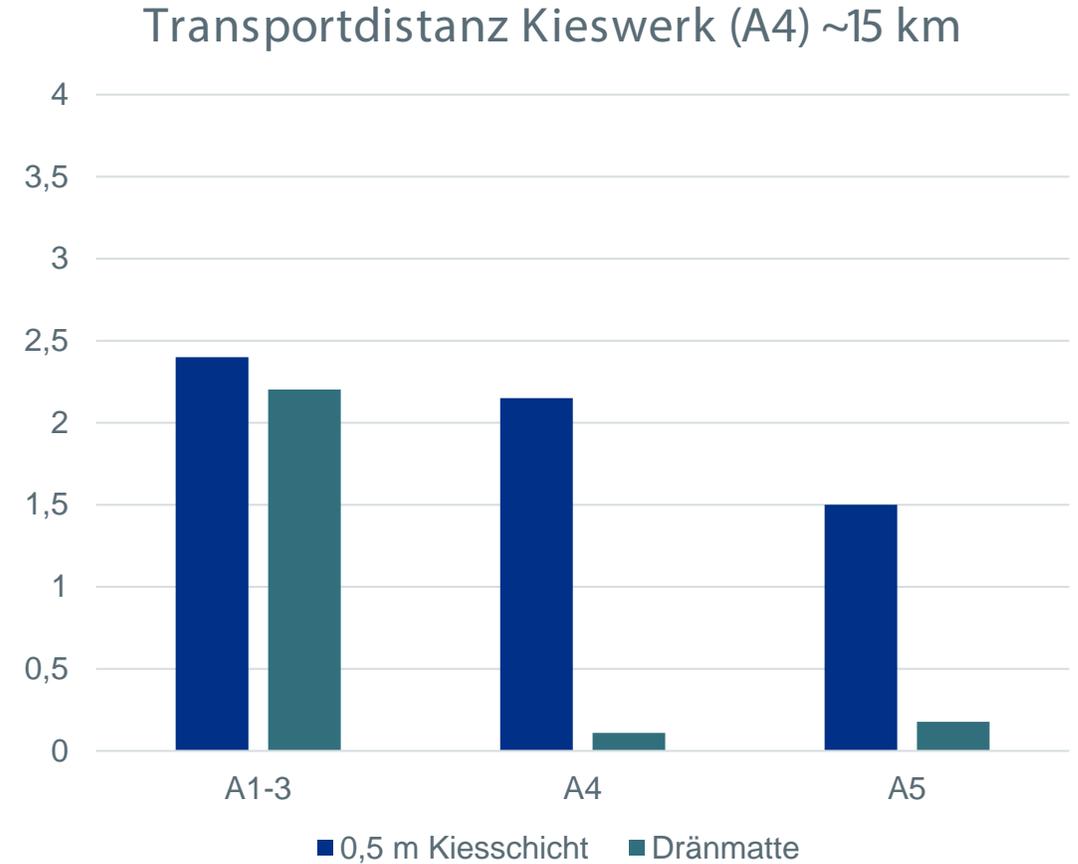
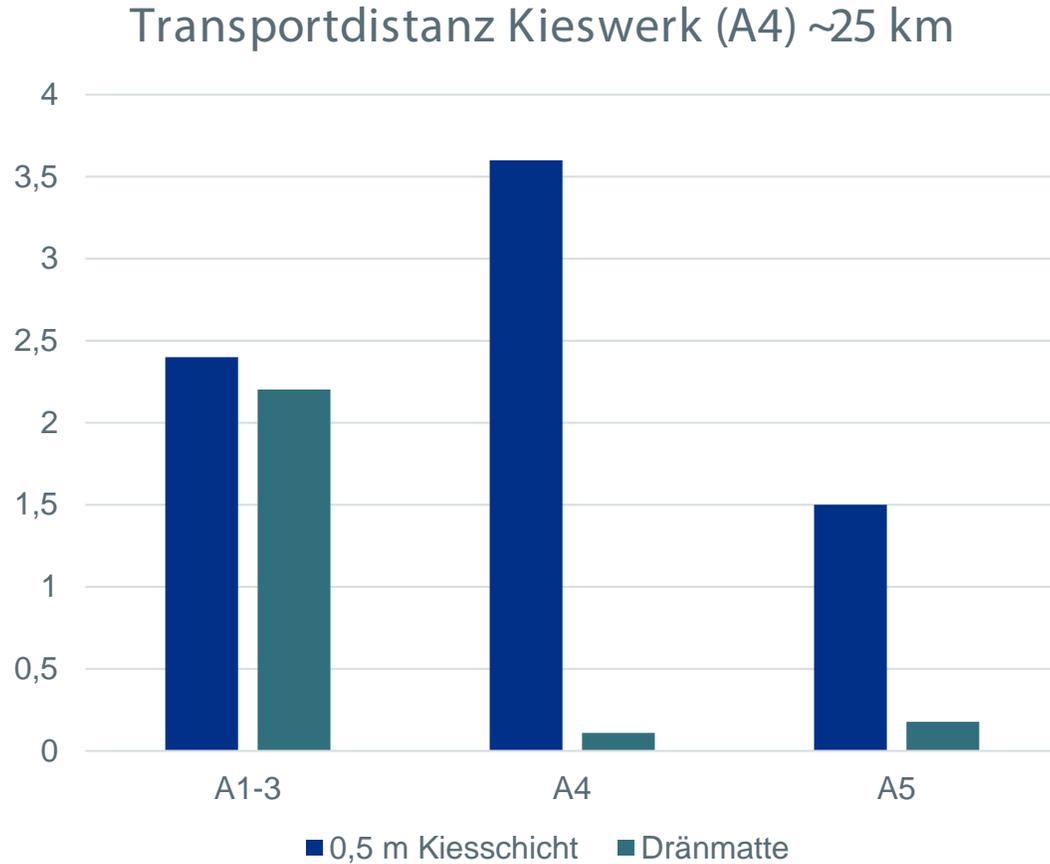
- A4
 - LKW-Transport
 - → Ermittlung durchschnittlicher Transportdistanz und Ladungsvolumen/-Menge
 - → Bestimmung gefahrener Tonnenkilometer (t^*km) und Bezug auf GWP ($0,1067 \text{ kg}_{CO_2}/t^*km$ (Quelle: Ökobaudat)); Berücksichtigung der LKW-Leerfahrt für den Rückweg.
 - Ansatz: 20l Diesel/ 100 km;
 - $GWP_{\text{Diesel}} = 2,65 \text{ kg}_{CO_2}/l$

THG-Bilanzierung der Teilobjekte am Beispiel einer Entwässerungsschicht

- A5 – Errichtung und Einbau vor Ort
 - Geräteeinsatz auf der Baustelle
 - → Arbeitsleistung auf der Baustelle bspw. in m^3/d
 - → tägliche Arbeitszeit (9h)
 - → Verbrauch der Geräte mit Bezug auf $\text{GWP}_{\text{Diesel}}$
 - → Berücksichtigung der Vermögenswerte (THG-Emissionen der Herstellung der Baugeräte; anteilig über Verhältnis aus Lebensdauer und Vorhaltezeit oder gefahrene km bei LKW)

Vergleich von Entwässerungsschichten

spezifische GWP-Indikatorwerte in $\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{m}^2$ für unterschiedliche Entwässerungsschichten



Proportionaler Zusammenhang zwischen A4 und der Transportdistanz

Besonders wichtig bei der Abfallanlieferung

Ergebnisse – THG-Emissionen

| | A1-3 Material- gewinnung & -herstellung [t CO ₂ eq.] | A4 Transport [t CO ₂ eq.] | A5 Errichtungs- prozess & Baubegleitung [t CO ₂ eq.] | B8 Nutzer- aktivitäten [t CO ₂ eq.] | B9-11 Material- gewinnung & -herstellung [t CO ₂ eq.] | B12 Transport [t CO ₂ eq.] | B13 Errichtungs- prozess & Baubegleitung [t CO ₂ eq.] | Anteil | Summe [t CO ₂ eq.] |
|------------------------------------|---|--|---|---|--|---|--|--------|----------------------------------|
| Basisabdichtung | 1022 | 1248 | 1313 | | | | | 14,8 % | 3583 |
| Zwischendichtung | 648 | 855 | 635 | | | | | 8,8 % | 2138 |
| Oberflächenabdichtung | | | | | 1588 | 1058 | 328 | 12,2 % | 2974 |
| Abfallanlieferung & -einbau | | | | 15584 | | | | 64,2 % | 15584 |
| Anteil | 6,9 % | 8,7 % | 8,0 % | 64,2 % | 6,5 % | 4,4 % | 1,4 % | 100 % | |
| Summe [t CO₂eq.] | 1670 | 2103 | 1948 | 15584 | 1588 | 1058 | 328 | | 24279 |

- Idealisierte Darstellung auf Basis des Status der Vorplanung (LPH2)
 Detaillierte Bewertungen erfolgen kontinuierlich, je nach Projektfortschritt

Ausblick – was ist zu tun ?



Resümee

- Grundsätzlich werden bei Nachhaltigkeitsbetrachtungen/Bewertungen entsprechende Vereinfachungen bzw. definierte Annahmen getroffen; es muss anwendbar sein und bleiben;

Jedoch muss im Vorfeld und frühestmöglich eine genaue Auswahl der Annahmen/Varianten mit Nachweis (also der genauen Dokumentation) erfolgen;

Eine einfache Auflistung, ein einfaches Aufstellen von Indikatoren ist nicht zielführend und kann sogar schädlich sein – „*green washing*“.

Die Anwendung einer Lebenszyklusanalyse auf das Bauwerk Deponie ist ein gutes anwendbares Verfahren zur Bestimmung einer Nachhaltigkeitsbewertung.

Ausblick: Arbeitspapiere AK6.1 und AK6.7 DGGT

Zur Bewertung der Nachhaltigkeit einer Deponie

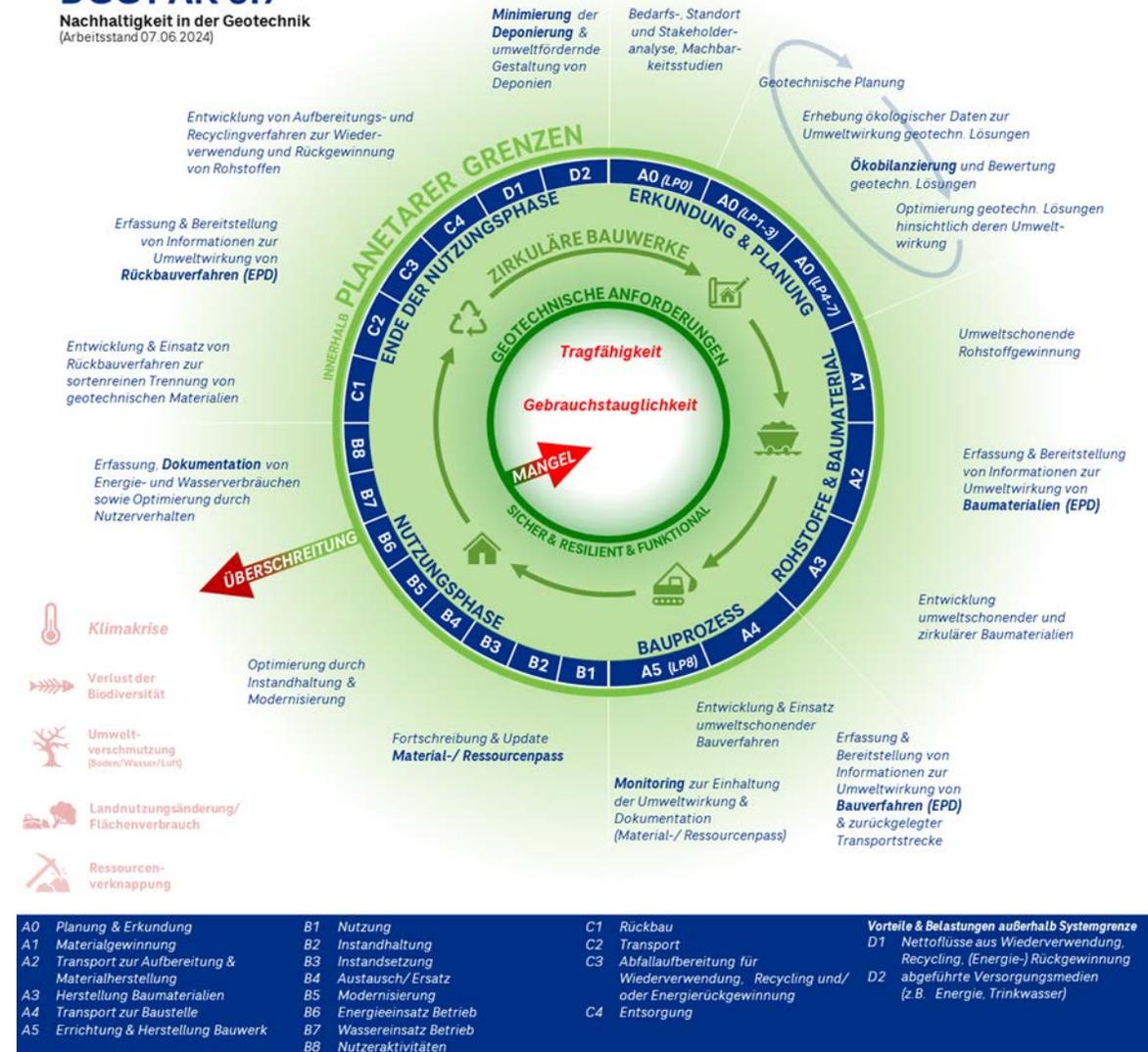
Prof. Dr.-Ing. Gunnar Heibrock, Hochschule Kaiserslautern
 Dr.-Ing. Hanna Viefhaus, REMONDIS Production GmbH
 Carsten Lesny, Asmus + Prabucki Ingenieure GmbH
 Andreas Witzsche, Ingenieurbüro Roth&Partner GmbH
 Prof. Dr.-Ing. Robert-Balthasar Wudtke, Hochschule Nordhausen

Aufbauend auf der Grundlage einer Klarstellung der Bedeutung des Begriffes Nachhaltigkeit wird ein Vorschlag für eine systematische Vorgehensweise für die Bewertung der Nachhaltigkeit einer Deponie bzw. ihrer Komponenten vorgestellt und exemplarisch angewendet.

Empfehlung zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei Geotechnischen Projekten

Autoren: Gunnar Heibrock, Hannes Herzog & Robert-B. Wudtke

DGGT AK 6.7 Nachhaltigkeit in der Geotechnik (Arbeitsstand 07.06.2024)





listen. think. deliver.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Dipl.-Ing. Biotechn. Juergen Forsting

Senior Consultant

CDM Smith SE
Am Umweltpark 3 - 5
44793 Bochum