

Ökobilanz KS Verwertung in DE

Vergleich stoffliches Recycling mit thermischer Verwertung
in einer MVA oder Zementwerk

Auftraggeber

ITAD e.V.

Datum

23.06.2015

Verfasser

Thomas Kägi

Carbotech AG, Zürich

t.kaegi@carbotech.ch

QS

Fredy Dinkel

Carbotech AG, Basel

f.dinkel@carbotech.ch

1. Ausgangslage
2. Ziel und Rahmenbedingung
 - Zielsetzung und funktionelle Einheit
 - Systemgrenzen und Annahmen
3. Sachbilanz
 - Sachinventar – Vordergrunddaten
 - Berechnungsgrundlagen
 - Allokations- und Gutschriftsansatz
4. Wirkbilanz
 - Bewertungsmethoden
5. Resultate und Diskussion
6. Schlussfolgerungen
7. Ausblick

1. Ausgangslage



Nach Veröffentlichung der Studie Ökobilanzen von Getränkeverpackungen in der Schweiz (Dinkel & Kägi 2014), in der auch der Nutzen von den drei Recyclingsystemen PET-Flaschen, PE-Flaschen und Getränkekarton betrachtet wurde, wollte die ITAD e. V. wissen, inwiefern die Resultate auch für Deutschland gültig sind. Zu diesem Zweck sollen auf Basis der bereits erstellten Ökobilanzstudie für den Umgang mit Massekunststoffabfällen die relevanten Faktoren auf Deutsche Verhältnisse angepasst werden.

1. Ausgangslage

Begrifflichkeiten

- **Sammelquote:** Menge gesammeltes Material / anfallende Menge
- **Recyclingquote:** Menge Sekundärmaterial / anfallende Menge
- **Recycling = stoffliches Recycling:** Aufbereitung von Abfall zu Sekundärmaterial
- **Thermische Verwertung:** Verbrennung von Abfällen mit entsprechender Energieerzeugung
- **Selektivsammlung:** z. B. nur PET-Flaschen
- **Selektive Gemischtsammlung:** z. B. alle Flaschen ausser Glas
- **Gemischtsammlung:** z. B. alle Kunststoffabfälle im Haushalt

2. Ziel und Rahmenbedingung

Zielsetzung und funktionelle Einheit

Zielsetzung:

- Ökologischer Vergleich der Verwertung von Kunststoff mittels stofflichem Recycling, Entsorgung in einer deutschen Müllverbrennungsanlage (MVA) oder Entsorgung in einem Zementwerk.
- Es wird der Massenkunststoff Polyethylen (PE) betrachtet, mit der Annahme, dass dasselbe auch für Polypropylen (PP) gilt.
- Zusätzlich wird betrachtet, unter welchen Bedingungen die ökologische Vorteilhaftigkeit des Recyclings zugunsten der anderen Verwertungswegen kippt.

Funktionelle Einheit (Vergleichsgrösse):

1 t PE-Abfall

2. Ziel und Rahmenbedingung

Systemgrenzen

Technische Systemgrenze:

Berücksichtigt wird die generelle Herstellung von PE sowie alle Prozesse ab dem Zeitpunkt, ab dem das PE als „Abfall“ anfällt, inkl. Sammeltransporte, Aufbereitung oder Verwertung sowie Gutschriften für Einsparungen. Nicht berücksichtigt wird die Nutzungsphase des PE.

Räumliche Systemgrenze:

Es wird die Situation in Deutschland betrachtet.

Zeitliche Systemgrenze:

Es wird wenn immer möglich das Jahr 2013 betrachtet.

3. Sachbilanz

Sachinventar



Entsorgung in MVA DE:

- Emissionswerte deutscher MVAs gemäss Angaben vom ITAD. Neben den PE-spezifischen CO₂-Emissionen sind für die Gesamtumweltbelastung insbesondere die anlagenspezifischen Dioxin- und NO_x-Emissionen von einer gewissen Relevanz (=90% der anlagenspezifischen Umweltbelastung):
33.5 ng Dioxin / t Abfallverwertung, 0.516 kg NO_x / t Abfallverwertung (bei 5000 Nm³ Rauchgas / t Abfallverwertung)
- Durchschnittliche Energieerzeugung MVA (MVA D):
10.2% Strom sowie 26.8% Wärme (Angaben gemäss ITAD)
- Annahme stromoptimierte Energieerzeugung MVA (MVA S): 24.7% Strom sowie 26.8% Wärme (Rytec 2014).
- Annahme wärmeoptimierte Energieerzeugung MVA (MVA W): 10.2% Strom sowie 68.4% Wärme (Rytec 2014).

Stoffliche Verwertung:

- Aufwand für stoffliche Verwertung gemäss Dinkel & Kägi (2014). Die Daten beziehen sich dabei auf das selektive Sammelsystem in der Schweiz. Dabei wurde mit einer Recyclingquote von 86 % gerechnet.
- Berücksichtigt werden sämtliche Prozesse vom Sammelbehälter, über die Sammeltransporte und Sortierprozess bis hin zur Aufbereitung des rezyklierten Polyethylen (R-PE).
- Annahmen:
 - Doppelt so hohe Transportdistanzen für PE-Sammlung wie in der Schweiz.
 - Aufgrund fehlender Datenbasis wurden Qualitätsunterschiede zwischen Selektiv- und Gemischtsammlung nicht berücksichtigt.

Thermische Verwertung in Zementwerk:

- Annahmen: PE ersetzt im Basisszenario Heizöl (und nicht Kohle).

3. Sachbilanz

Allokations- und Gutschriftsansatz

Es wurde der Substitutional Approach des ILCD Handbook verwendet. Diese bedeutet für **die Entsorgung in einer MVA:**

Pro MJ PE-Input können im Durchschnitt (MVA D) 0.102 MJ Strom und 0.268 MJ Wärme erzeugt werden. Dabei ersetzt der MVA-Strom sonst zu erzeugenden Strom. Dieser wird am besten mit dem Grenzstrommix abgebildet. Der Grenzstrommix für DE besteht aus 65% Steinkohle, 15% Heizöl, 10% Braunkohle und 10% Kernenergie (Garz et al. 2009) (entspricht 956 kg CO₂e / MWh ersetzter Grenzstrom).

Die MVA-Wärme ersetzt sonst zu erzeugende Wärme aus Öl/Gas im Verhältnis 46/54 gemäss fossilem Heizbedarf in Deutschland 2014 (BMWi 2014) (ohne Kohleersatz im Basisszenario) (entspricht 388 kg CO₂e / MWh ersetzter Wärme).

das stoffliche Recycling:

- R-PE ersetzt primäres PE. Da R-PE nicht dieselbe Qualität aufweist wie primäres PE, wird eine Wertberichtigung mit dem Faktor 0.9 vorgenommen analog zu Dinkel und Kägi (2014). Dabei bezieht sich das stoffliche Recycling auf PE-Abfall aus einer sortenreinen Sammlung. D. h. 1 t R-PE ersetzt 0.9 t primäres PE.

die thermische Verwertung im Zementwerk:

- Der Einsatz von PE in einem Zementwerk kann fossile Energieträger ersetzen. Dies führt pro t PE zu einer Einsparung von 1 t Heizöl (oder 0.7 t Kohle, falls Kohle ersetzt wird).

3. Sachbilanz

Weitere Annahmen

Gutschrift für Öl statt für Kohle

Im Allgemeinen wird mit ARF (alternative Resources and Fuels) im Zementwerk Kohle eingespart. Daraus ergibt sich eine hohe Reduktion der CO₂-Emissionen. Die Verwendung von Kohle ist jedoch nicht prozessbedingt, sondern wird aus ökonomischen Gründen eingesetzt. Entsprechend erachten wir die Gutschrift für Kohle als zu hoch, siehe auch Bericht PE Folien Recycling (Dinkel und Stettler 2011) und verwenden stattdessen eine Gutschrift basierend auf Heizöl.

Analogerweise wird auch für die Wärmeproduktion in einer MVA mit einem kohlefreien Gutschriftsmix gerechnet.

In zwei Sensitivitätsszenarien wurden jedoch auch folgende Varianten inklusive Kohlegutschrift gerechnet (für Resultate siehe Anhang):

- Entsorgung in einer MVA: Ersatz (Gutschrift) von 54% Gas, 2% Öl, 44% Kohle, statt 54% Gas, 46% Öl. (BMW_i 2014).
- Entsorgung im Zementwerk: Ersatz (Gutschrift) von 91% Kohle (inkl. Petroleum Koks), 1% Gas, 8% Öl, statt 100% Öl (VDZ 2014).

Gutschrift für Grenzstrommix statt für Strommix für biogener Teil MVA gemäss UBA (2014)

Die Empfehlung des UBA bezieht sich nur auf den biogenen Teil der Verbrennung in einer MVA und ist somit nicht geeignet für die Betrachtung von PE-Abfallverwertung. Deswegen verwenden wir den Grenzstrommix, der am ehesten den realen Ersatz von Strom darstellt. Zu beachten ist dabei, dass der Grenzstrommix rund 30% höhere CO₂-Emissionen verursacht als der Deutsche Strommix. Entsprechend sind die Gutschriften relativ hoch.

3. Sachbilanz

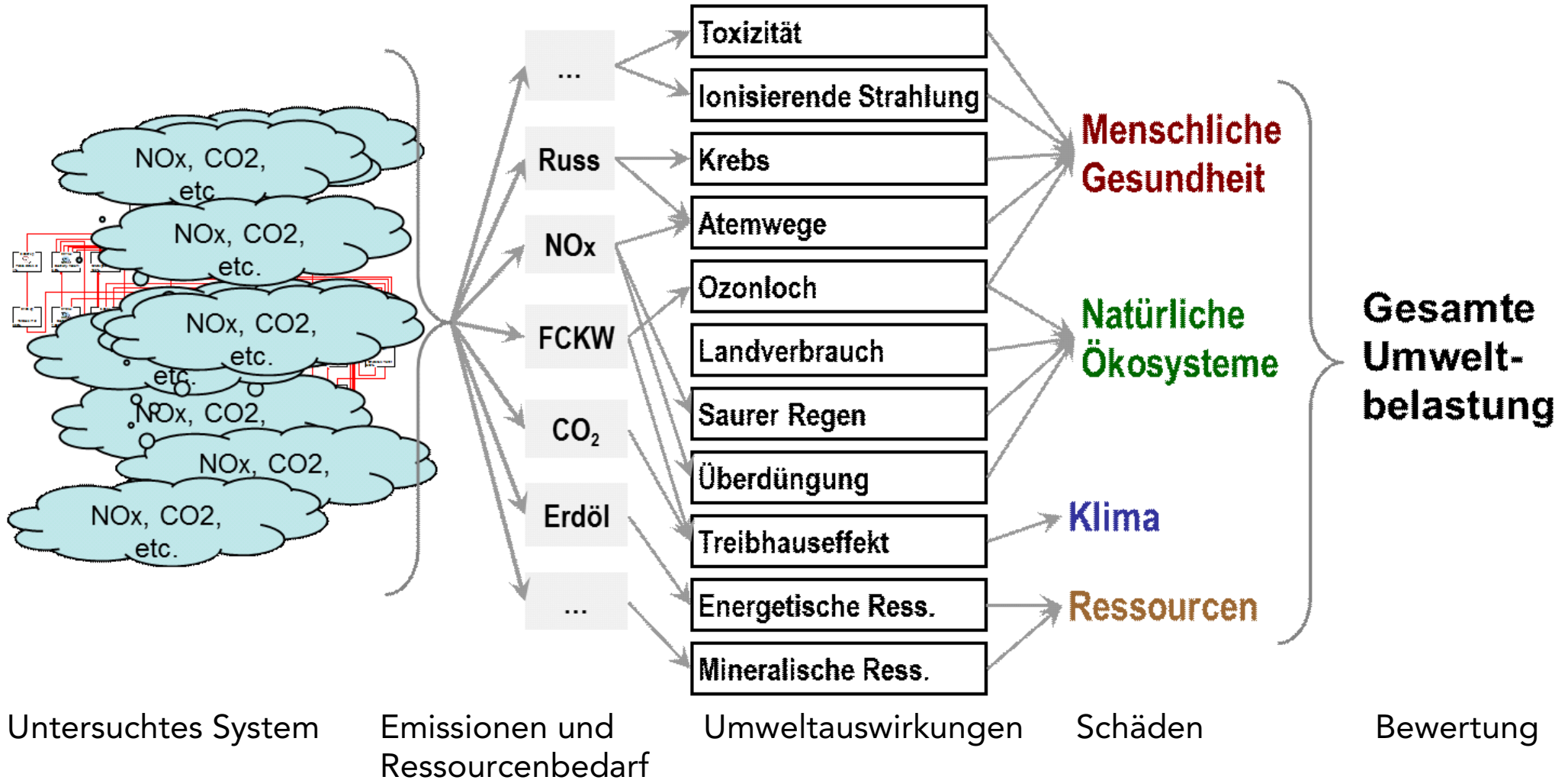
Grundlagen und Unsicherheiten

Die Ökobilanz wurde mit der LCA-Software SimaPro 8.0.4 gerechnet auf Basis der ecoinvent v2.2+ Datenbank für sämtliche Hintergrunddaten und Emissionsdaten mit Ausnahme der auf Seite 7 beschriebenen Emissionsdaten (Dioxin und NO_x).

Jede Ökobilanz ist mit Unsicherheiten behaftet, welche sich unter anderem aus Unsicherheiten bei der Datenerhebung, wie auch bei der Berechnung der Einwirkungen und Auswirkungen auf die Umwelt ergeben. Diese Unsicherheiten werden in den Übersichtsgrafiken als Spannbreiten der Ergebnisse entsprechend ausgewiesen.

4. Wirkbilanz

Übersicht Wirkungsweise



4. Wirkbilanz



In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich den Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Um diese zu bestimmen, wird folgendermassen vorgegangen:

- Klassifizierung (Einteilung der Einflüsse bezüglich ihrer Auswirkungen)
Die Stoffe werden nach ihren unterschiedlichen Wirkungen auf die Umwelt gruppiert.
- Charakterisierung (Berechnung der Auswirkungen auf die Umwelt):
Dabei werden die einzelnen Substanzen entsprechend ihres Schädigungspotentials bezüglich einer Leitsubstanz gegeneinander gewichtet. Daraus ergeben sich die Schädigungspotentiale bezüglich einer bestimmten Umweltauswirkung.

Folgende Wirkungen bzw. Aspekte werden in den Resultaten speziell ausgewiesen:

- Treibhauspotential (GWP)
Einfluss auf das Klima infolge der Emission von klimawirksamen Stoffen wie Kohlendioxid (CO₂), Lachgas (N₂O) oder Methan (CH₄). Diese Auswirkung wird gemäss IPCC aus dem Jahr 2013 berechnet und in diesem Bericht ausgewiesen (IPCC 2013).
- Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar (VDI 2012).

4. Bewertungsmethoden



Die Indikatoren der Wirkungsbilanz decken jeweils nur einen Teilbereich der gesamten Umweltauswirkungen ab. Erst die Berücksichtigung der verschiedenen Auswirkungen gibt jedoch ein umfassendes Bild der ökologischen Auswirkungen. Die Berechnung dieser Indikatoren basiert auf wissenschaftlichen Modellen, daher haben diese Indikatoren auch eine hohe Akzeptanz.

Ein Interpretationsproblem besteht dann, wenn die verschiedenen Auswirkungen unterschiedliche Schlüsse zulassen. So kann zum Beispiel ein untersuchtes Produkt wesentlich geringere Auswirkungen auf das Klima haben als ein anderes, jedoch viel grössere Auswirkungen auf die Gewässer und es stellt sich die Frage, was bei den untersuchten Produkten oder Systemen entscheidend ist. Problematisch dabei ist, dass die Ergebnisse der verschiedenen Wirkkategorien nicht direkt miteinander verglichen werden können.

Einerseits sind die Einheiten und damit die Dimensionen unterschiedlich und andererseits wird keine Aussage gemacht, wie problematisch die betreffende Wirkung relativ zur anderen ist. Um diese verschiedenen Auswirkungen zu einer Kennzahl zusammenzufassen oder zumindest die Relevanz der verschiedenen Auswirkungen zu erkennen, wird in zwei Schritten vorgegangen:

- Normalisierung der verschiedenen Auswirkungen, um vergleichbare Grössenordnungen zu erhalten.
- Gewichtung der normalisierten Auswirkungen relativ zu einander oder relativ zu Zielvorgaben.

Als Entscheidungshilfe für die Beurteilung wird in dieser Arbeit die folgende Methode verwendet, welche die Umweltauswirkungen zu einer Kennzahl (Indikator) zusammenfügt:

- Methode der ökologischen Knappheit 2013

4. Bewertungsmethoden



Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Umweltbelastungspunkte – UBP)

Diese Methode (BUWAL 1990, Überarbeitung 1997, 2006 und 2013) wurde mit dem Ziel entwickelt, die verschiedenen Umweltauswirkungen zu einer einzigen Kenngrösse (Umweltbelastungspunkte) zusammenzufassen. Es handelt sich um eine Stoffflussmethode, bei der neben den bereits bestehenden Belastungen die umweltpolitischen Ziele der Schweiz berücksichtigt werden. Je grösser die Umweltbelastung eines Produktes ist, desto mehr Umweltbelastungspunkte erzeugt seine Bewertung. In diesem Projekt wurde die kürzlich veröffentlichte Version 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) verwendet.

Obwohl diese Methode in erster Linie für die Schweiz entwickelt wurde, hat sie auch ihre Gültigkeit im europäischen Kontext, insbesondere da sich die Umweltgesetzgebung der Schweiz laufend der EU anpasst. Zudem gibt es eine steigende Tendenz zur Verwendung dieser gesamtaggrierenden Methode auch in Deutschland (e.g. Methode der ökologischen Knappheit für Deutschland, Eine Initiative der Volkswagen AG (Ahbe et al. 2014)).

5. Resultate Prozessbeiträge

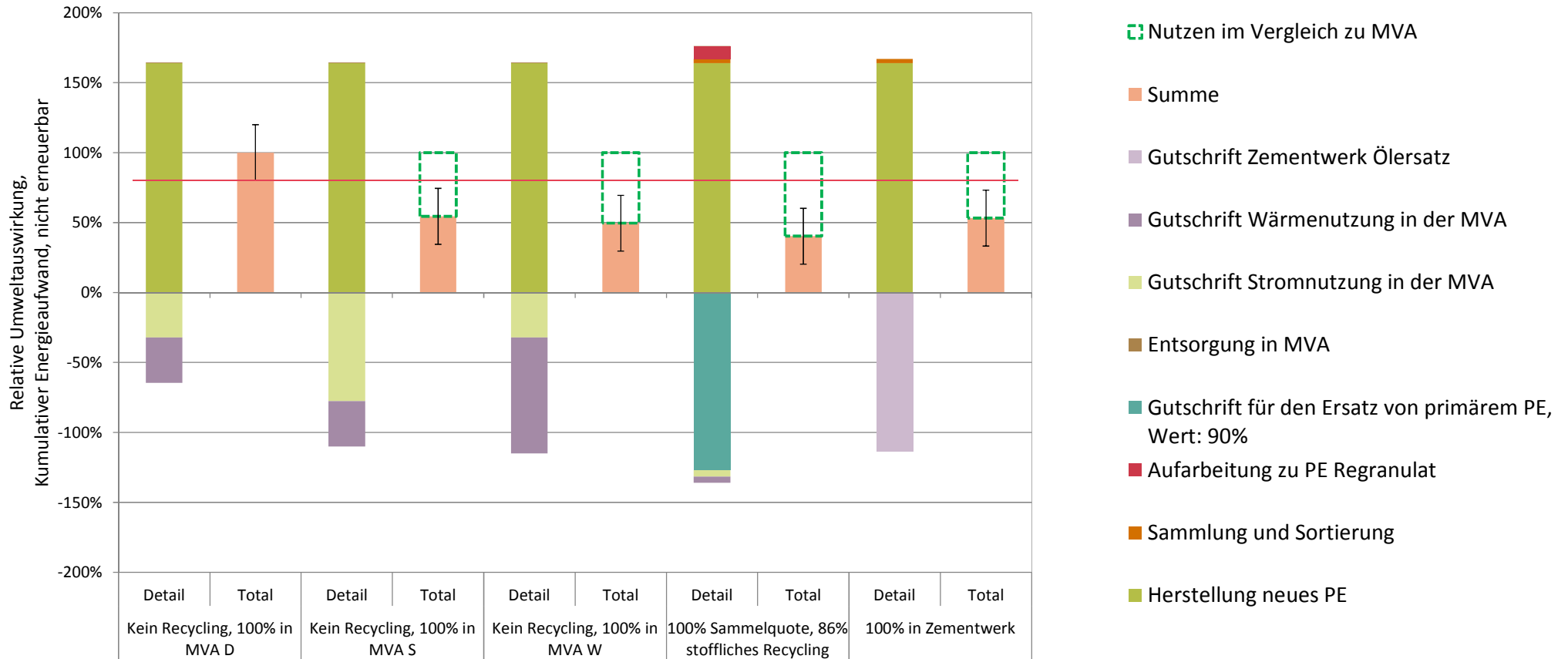
Hinweise zur Interpretation der Grafiken

Diese Hinweise dienen zum richtigen Verständnis der folgenden drei Grafiken:

- Dargestellt ist jeweils die relative Umweltauswirkung. Dabei ist das Resultat der PE-Verwertung in einer MVA D auf 100% normiert (Basis für Vergleiche mit anderen Varianten)
- Für jede Verwertungsvariante sind die Prozessbeiträge (oberhalb der X-Achse) sowie die Gutschriftsbeiträge (unterhalb der X-Achse) dargestellt (jeweils linke Säulen).
- Die jeweils rechte orange Säule entspricht der Summe aller Beiträge.
- Die grün gestrichelte Säule entspricht dem Nutzen der entsprechenden Variante im Vergleich zur PE-Verwertung in einer MVA D.
- Die schwarzen Balken widerspiegeln die in der Ökobilanzierung involvierten Unsicherheiten. Diese erscheinen auf den ersten Blick als riesig, z. T. 100% der Summe (orange Säule). Der Grund liegt darin, dass es sich jeweils um die Differenz von grossen Prozessbeiträgen und grossen Gutschriftsbeiträgen handelt. Eine Unsicherheit von 20% bei den Gutschriften kann somit zu einer Verdopplung oder Halbierung der Summe (orange Säule) führen.
- Ein Variante ist dann signifikant umweltfreundlicher, wenn sich ihr Unsicherheitsbalken nicht mit dem Unsicherheitsbalken der Vergleichsvariante überschneidet.
- Die rote Linie stellt die untere Grenze der Unsicherheit dar für die Variante MVA D.

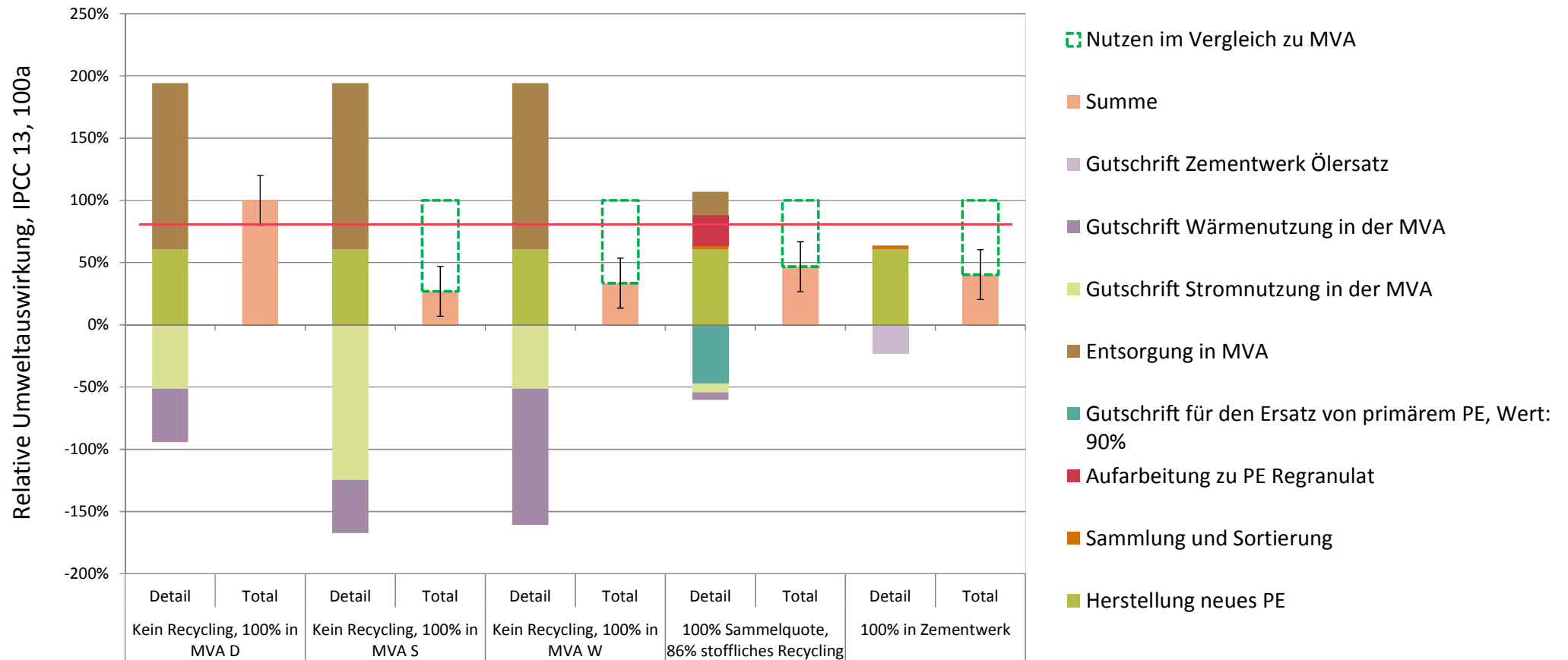
5. Resultate Prozessbeiträge

Kumulierter Energieaufwand



5. Resultate Prozessbeiträge

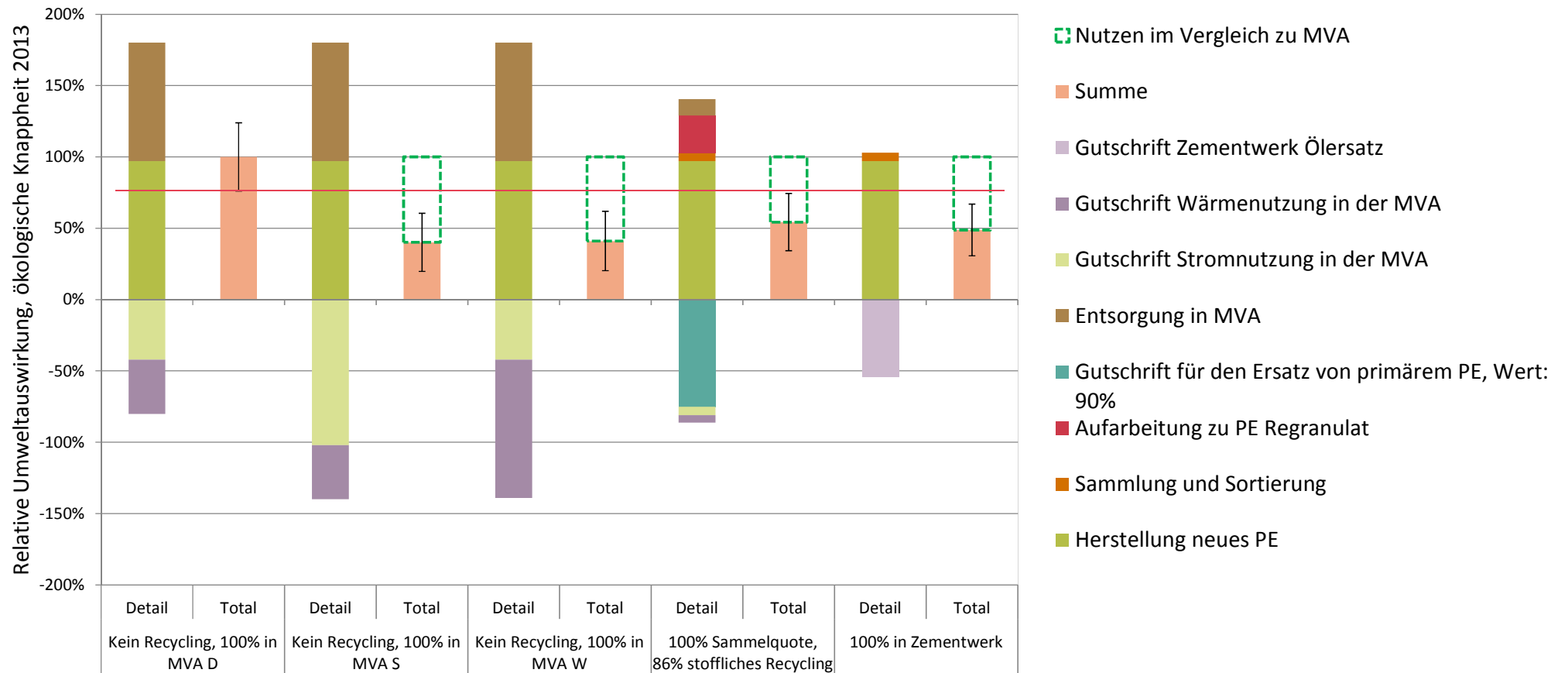
Treibhauspotential



5. Resultate Prozessbeiträge



Methode der ökologischen Knappheit 2013



5. Resultate

Analyse I



Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar (siehe Folie 16):

- Die Herstellung des primären PE trägt in allen drei Systemen deutlich am meisten zur Umweltbelastung bei.
- Bei der Entsorgung in einer MVA D reduzieren die erhaltenen Gutschriften die Bilanz um rund einen Drittel.
- Bei der MVA W und S reduzieren die Gutschriften die Bilanz um rund zwei Drittel.
- Dank der Einsparung der im primären PE enthaltenen Energie fällt die Gutschrift beim stofflichen Recycling sehr hoch aus, so dass das stoffliche Recycling um rund 60% besser abschneidet als die Entsorgung in einer MVA D.
- In einem ähnlichen Bereich liegt auch die Entsorgung im Zementwerk sowie die Entsorgung in einer MVA W oder S.
- Wird beim Zementwerk und bei der Wärmegewinnung in der MVA Kohle als Gutschriftsvariante mitberücksichtigt (siehe Folie 9 sowie Anhang Folie 33), gibt es keine signifikanten Änderungen zum Vergleich des Basisszenario.

Treibhauspotential (siehe Folie 17):

- Die erhaltenen Gutschriften bei der MVA D sind rund 40% kleiner als die CO₂-Emissionen der Verbrennung.
- Bei der MVA W und S sind die Gutschriften leicht grösser als die Entsorgungsemissionen.
- Die Resultate sehen jedoch insgesamt ähnlich aus wie bei der Methode der ökologischen Knappheit (siehe Folie 20).
- Einzig die MVA S weist tendenziell das bessere Ergebnis auf, auf Grund des verwendeten Grenzstrom-Mix.
- Wird beim Zementwerk und bei der Wärmegewinnung in der MVA Kohle als Gutschriftsvariante mitberücksichtigt (siehe Folie 9 sowie Anhang Folie 34), erhöhen sich die Gutschriften insbesondere beim Zementwerk und bei der MVA W. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten weist jedoch nur das Zementwerk eine signifikant bessere Bilanz auf. Es gilt zu beachten, dass das Treibhauspotential nur eine Umweltwirkung unter vielen ist, und nur beschränkt etwas über die Gesamtumweltbelastung aussagt.

5. Resultate

Analyse II



Methode der ökologischen Knappheit (siehe Folie 18):

- Die Herstellung des primären PE trägt in allen Varianten am meisten zur Umweltbelastung bei.
- Die durch die thermische Verwertung erhaltenen Gutschriften wiegen die Entsorgungsemissionen MVA D, welche fast so gross sind wie die der PE Herstellung, gerade auf. Dabei sind die Stromgutschrift und die Wärmegutschrift ähnlich gross.
- Sowohl bei der MVA S und MVA W wiegen die Gutschriften die Entsorgungsemissionen um das doppelte auf, so dass das Resultat rund 60% besser ist als die Entsorgung in einer MVA D.
- Die beim stofflichen Recycling erhaltenen Gutschriften insbesondere für den Ersatz von primärem PE liegen in einer ähnlichen Grössenordnung wie die Energiegutschrift der MVA D. Die Umweltbelastung des eigentlichen stofflichen Recyclings ist jedoch wesentlich geringer als die Umweltbelastung der Verbrennung in einer MVA D, so dass das stoffliche Recycling knapp 50% besser abschneidet (bei theoretischer 100% Sammelquote) als die Entsorgung in einer MVA D und ähnlich gut wie die Entsorgung in einer MVA S oder MVA W.
- Wird PE als Ersatzbrennstoff in einem Zementwerk verwendet, ersetzt es dort direkt fossile Brennstoffe wie Öl. Das führt dazu, dass die Entsorgung in einem Zementwerk eine rund 55% tiefere Umweltbelastung aufweist als die Entsorgung in einer MVA D, und ähnlich gut abschneidet wie das stoffliche Recycling oder die Entsorgung in einer MVA S oder MVA W.
- Wird beim Zementwerk und bei der Wärmegewinnung in der MVA Kohle als Gutschriftsvariante mitberücksichtigt (siehe Folie 9 sowie Anhang Folie 35), erhöhen sich die Gutschriften insbesondere beim Zementwerk und bei der MVA W. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten gibt es jedoch keine signifikanten Änderungen zum Vergleich des Basisszenario.

5. Resultate Prozessbeiträge

Hinweise zur Interpretation der Grafiken

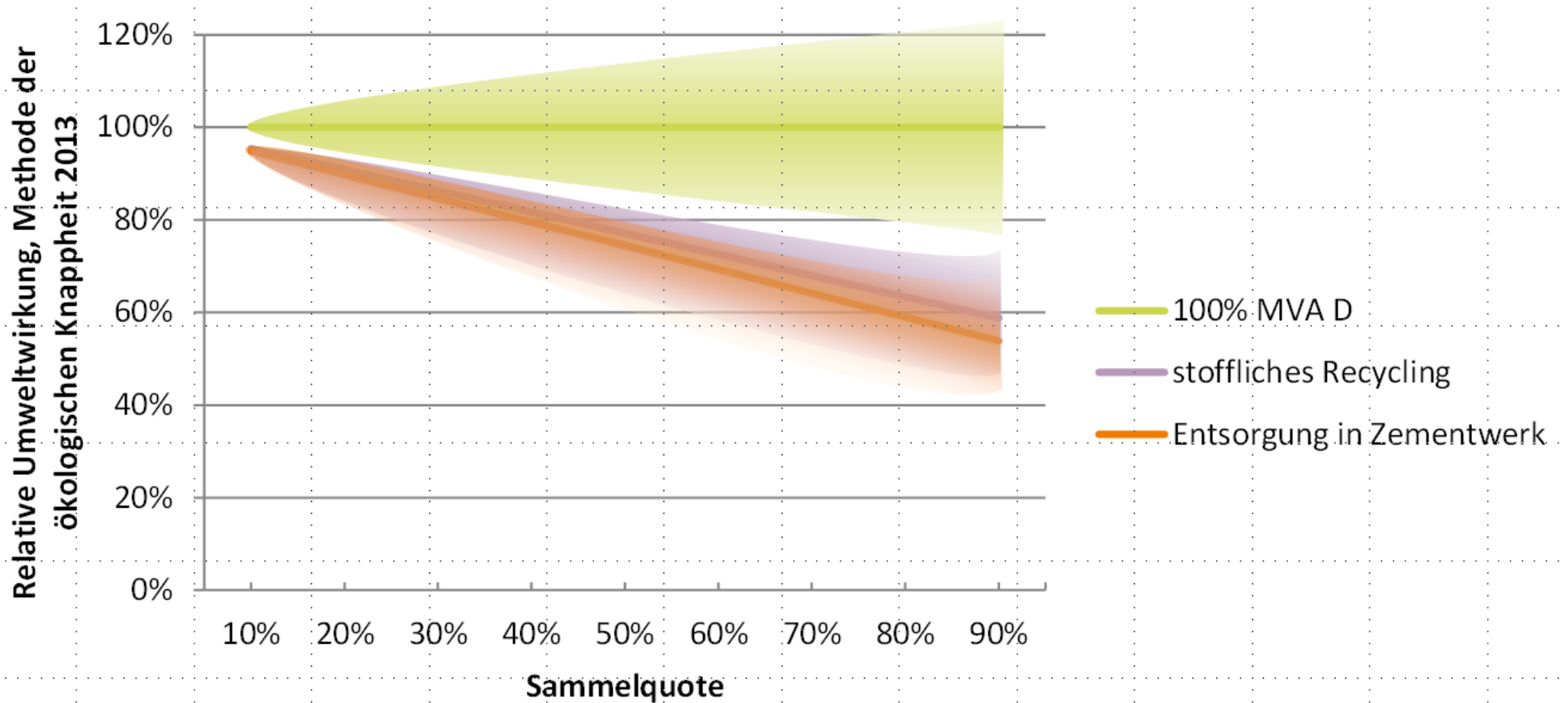
Diese Hinweise dienen zum richtigen Verständnis der folgenden Grafik:

- Dargestellt ist jeweils die relative Umweltauswirkung. Dabei ist das Resultat der PE-Verwertung in einer MVA D auf 100% normiert (Basis für Vergleiche mit anderen Varianten).
- Die Resultate für das stoffliche Recycling wie auch für die Verwertung in einem Zementwerk sind in Abhängigkeit der Sammelquote (X-Achse) dargestellt.
- Die schraffierten Flächen stellen die in der Ökobilanzierung involvierten Unsicherheiten dar. Dabei ist zu beachten, dass nur die unabhängigen Unsicherheiten dargestellt sind:
Lesebeispiel: Bei 10 % Sammelquote werden 90 % in der MVA entsorgt. Die dabei involvierten Unsicherheiten bei der Entsorgung in der MVA sind natürlich identisch mit den Unsicherheiten des Referenzszenarios 100 % Entsorgung in MVA und streichen sich heraus. Somit liegt die unabhängige Unsicherheit nur noch bei 10 % von den insgesamt 20 % (= 2 %) Unsicherheit bei 100 % stofflichem Recycling.

5. Resultate je nach Sammelquote



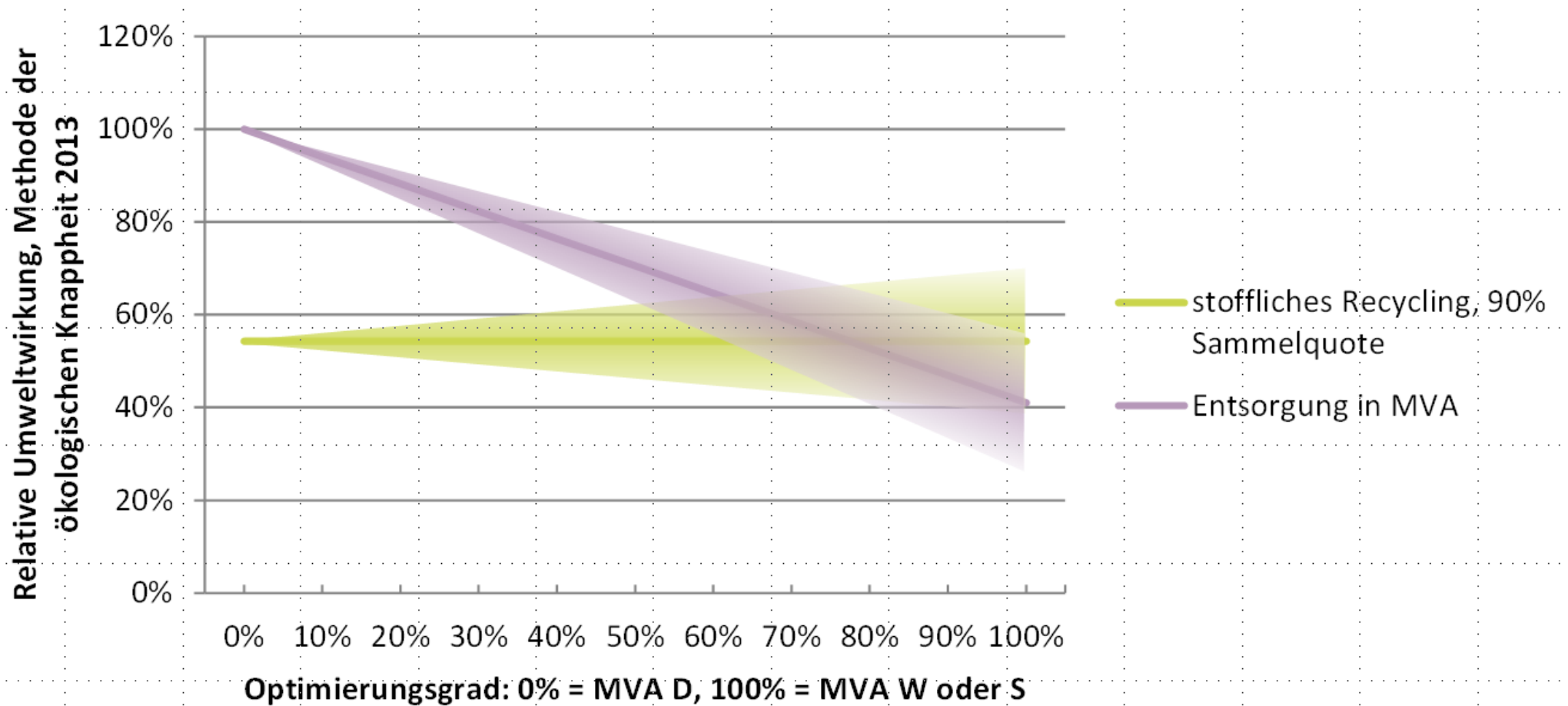
Methode der ökologischen Knappheit 2013



5. Resultate je nach Sammelquote



Methode der ökologischen Knappheit 2013



5. Resultate

Vergleich je nach Sammelquote

Im Vergleich zur PE-Verwertung in einer MVA D schneidet das stoffliche Recycling von PE besser ab, unabhängig von der Sammelquote. Bei einer Sammelquote von 90% können ein wenig mehr als 40% der Umweltbelastung eingespart werden. Sehr ähnliche Resultate sind hinsichtlich Treibhauspotential und kumuliertem Energieaufwand, nicht erneuerbar, feststellbar (nicht grafisch dargestellt).

Im Vergleich zur PE-Verwertung in einer MVA D schneidet die thermische Verwertung von PE in einem Zementwerk besser ab unabhängig von der Sammelquote. Bei einer Sammelquote von 90% können ein wenig mehr als 40% der Umweltbelastung eingespart werden (ähnliche Einsparung wie stoffliches Recycling). Sehr ähnliche Resultate sind hinsichtlich Treibhauspotential und kumuliertem Energieaufwand, nicht erneuerbar, feststellbar (nicht grafisch dargestellt).

Wie bereits in den Analysefolien der Prozessbeiträge gezeigt, schneiden die Varianten stoffliches Recycling, Entsorgung in Zementwerk sowie Entsorgung in MVA S oder W allesamt ähnlich gut ab.

Ein Kippen der Resultate, d. h. dass das stoffliche Recycling von PE aus Umweltsicht schlechter abschneidet als die Verwertung in einer MVA S oder W ist unter Berücksichtigung der involvierten Unsicherheiten und der getroffenen Annahmen nicht gegeben.

6. Schlussfolgerungen



Die durchgeführten Analysen und Vergleiche zeigen, dass das stoffliche Recycling von PE ökologisch sinnvoller ist als die Entsorgung in einer durchschnittlichen deutschen MVA (MVA D).

Bei einer energetischen Verwertung in einem Zementwerk oder bei einer Entsorgung in einer optimierten MVA (MVA S und W) sind die Umweltauswirkungen jedoch vergleichbar mit denjenigen des stofflichen Recyclings.

Zentral für die richtige Schlussfolgerung ist die zugrundeliegende Fragestellung:

- 1. Ressourcenoptik:** Wie soll eine bestimmte Menge PE-Abfall möglichst sinnvoll genutzt werden?
-> dann ist das PE im Sinne einer Kaskadennutzung möglichst oft stofflich zu rezyklieren. Mit jeder Kaskade wird ein zusätzlicher Nutzen generiert. Zum Schluss kann es dann immer noch in einem Zementwerk (oder MVA) mit entsprechendem Energienutzen entsorgt werden.
- 2. Bedarfsoptik:** Wie soll PE-Abfall möglichst sinnvoll unseren Bedarf an stofflichem PE-Material und Energie decken?
-> dann scheint die thermische Verwertung in einem Zementwerk oder in einer optimierten MVA ebenso sinnvoll wie das stoffliche Recycling zu sein. Dies gilt jedoch nur unter den vorher genannten Annahmen, dass der dabei zu ersetzende Energiemix stark auf fossilen Energiequellen beruht. Sollte sich dieser Energiemix nur noch aus erneuerbaren Energiequellen zusammensetzen, begünstigt dies automatisch das stoffliche Recycling (da die Energiegutschriften der MVA oder des Zementwerkes dann tiefer ausfallen). Zu bedenken ist jedoch: solange ein gewisser Sockel des Energiemixes aus fossilen Energieträgern bestehen bleibt, wird ebendieser fossile Anteil substituiert.

6. Schlussfolgerungen



Zu beachten ist, dass in dieser Studie für das stoffliche Recycling von PE eine Selektivsammlung gemäss Schweizer Beispiel betrachtet wurde (Dinkel & Kägi 2014). Nicht berücksichtigt wurde das stoffliche Recycling basierend auf einer Gemischtsammlung. Dabei ist insbesondere relevant:

- die Qualität der involvierten Stoffe (Qualität des Recyclingmaterials): Eine Verschlechterung der Qualität wirkt sich in einer geringeren Gutschrift aus, da nicht mehr gleich viel Primärmaterial ersetzt werden kann.
- der zusätzliche Nutzen, wenn neben PE auch noch andere Kunststoffe gesammelt und verwertet werden: Falls dank der Gemischtsammlung eine grössere Kunststoffmenge gesammelt werden kann als mit einzelnen Selektivsammlensystemen, wirkt sich die grössere Menge positiv auf den Umweltnutzen aus.

Beide Aspekte können einen wesentlichen Einfluss auf die ökologische Performance des stofflichen Recyclings haben (im positiven wie auch im negativen Sinne).

Aspekte, die für eine ökologische Betrachtung von Relevanz sind im Zusammenhang mit der Abfallverwertung und weiter untersucht werden könnten:

- Ökologisches Potential, wenn brennbare Abfälle thermisch verwertet statt deponiert werden.
- Ökologisches Potential der Schlackenaufbereitung (Nass- oder Trockenschlacke).
- Erreichbare Sammelquoten sowie Materialqualitäten je nach Sammelsystem.
- Ökologische Analyse der Verwertungspfade von weiteren Kunststoffabfällen wie PS oder PVC etc. oder von anderen brennbaren Materialien wie Papier und Biomasse für Deutsche Verhältnisse
- Weiterentwicklung der Methode der ökologischen Knappheit für Deutsche Verhältnisse, so dass sie alle relevanten Emissionen und Ressourcen hinsichtlich der Abfallverwertung berücksichtigt. Bis anhin wurden nur 21 von mehreren hundert Emissionen und Ressourcen betrachtet (Ahbe et al 2014).

Ahbe S., Schebek L., Jansky N., Wellge S., Weihofen S. (2014). Methode der ökologischen Knappheit für Deutschland. Eine Initiative der Volkswagen AG. AutoUni – Schriftenreihe, Bd. 68

BMWi (2014). Energiedaten: Gesamtausgabe. Stand: November 2014. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-grafiken>

Dinkel F. & Kägi T. (2014). Ökobilanzen von Getränkeverpackungen – Gesamtbericht. Carbotech AG, im Auftrag des Bundesamt für Umwelt Schweiz, Bern. <http://carbotech.ch/cms2/wp-content/uploads/Carbotech-LCA-Getraenkeverpackung-2014.pdf> oder <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/36446.pdf>

Dinkel F. & Stettler C. (2011). Ökologischer Nutzen des PE Folien Recyclings Schweiz (Landwirtschaft, Industrie und Gewerbe) - Ökoeffizienzanalyse von Kunststoff-Folien Recycling im Auftrag des BAFU. http://carbotech.ch/cms2/wp-content/uploads/Carbotech_PE-Folien-Recycling_d.pdf

Frischknecht R., Büsser Knöpfel S. (2013). Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Garz H., Ötsch R., Haas A., Wirtz P., Zank S. (2009). Deutsche Stromversorger - In der CO2-Falle? Zusammenfassung. Pan European Equity, Deutschland.

IPCC (2013). Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Rytec (2014). Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren, Resultate 2013. Rytec AG im Auftrag des Bundesamt für Umwelt, Schweiz.

VDI (2012). Kumulierte Energieaufwand (KEA). Beuth Verlag

VDZ (2014). Umweltdaten der deutschen Zementindustrie. https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Umweltdaten/VDZ_Umweltdaten_2013_DE_GB.pdf

UBA (2014). Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2013. Climate Change 23/2014

Hinweis zur Aussagekraft der vorliegenden Berechnungen

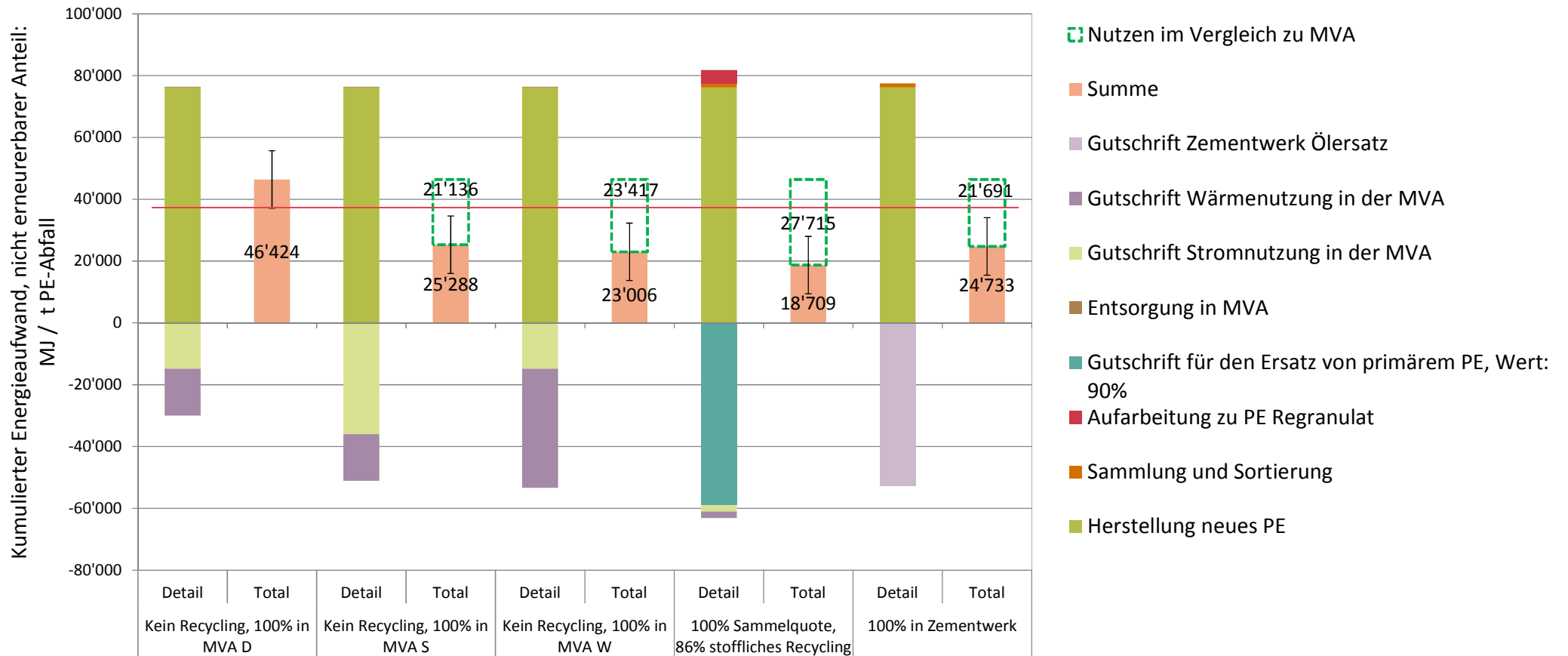


Die vorliegenden Berechnungen wurden mit grosser Sorgfalt erstellt. Sie basieren auf der Methode der Ökobilanzierung und umfassen den gesamten Lebensweg der betrachteten Produkte. Soweit sinnvoll und möglich richten sich die Berechnungen nach der Norm ISO 14'040.

Wenn immer möglich wurden anerkannte Datengrundlagen verwendet, für die Hintergrunddaten wurden die international anerkannten Ökoinventare von ecoinvent verwendet. Im Rahmen dieser Kurzevaluation mussten teilweise Abschätzungen und Annahmen verwendet werden. Daher sind die vorliegenden Berechnungen mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Bei der Interpretation und Kommunikation müssen diese Unsicherheiten berücksichtigt werden. Zudem muss bei der Kommunikation darauf geachtet werden, dass die Resultate als Gesamtes wiedergegeben werden. Es ist nicht zulässig nur einzelne Resultate oder Aspekte aus dieser Arbeit zu zitieren, welche nicht das Gesamtbild zeigen.

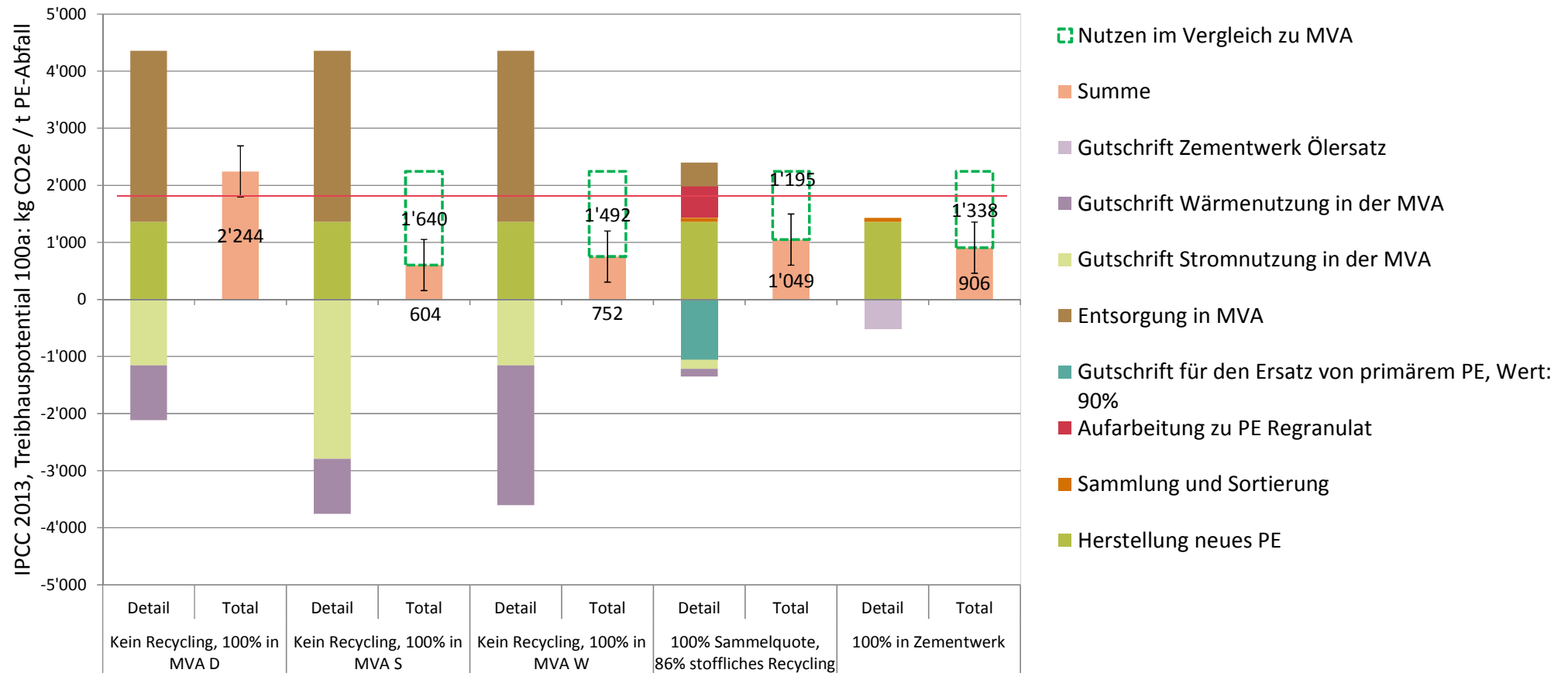
Anhang: Absolute Prozessbeiträge

Kumulierter Energieaufwand



Anhang: Absolute Prozessbeiträge

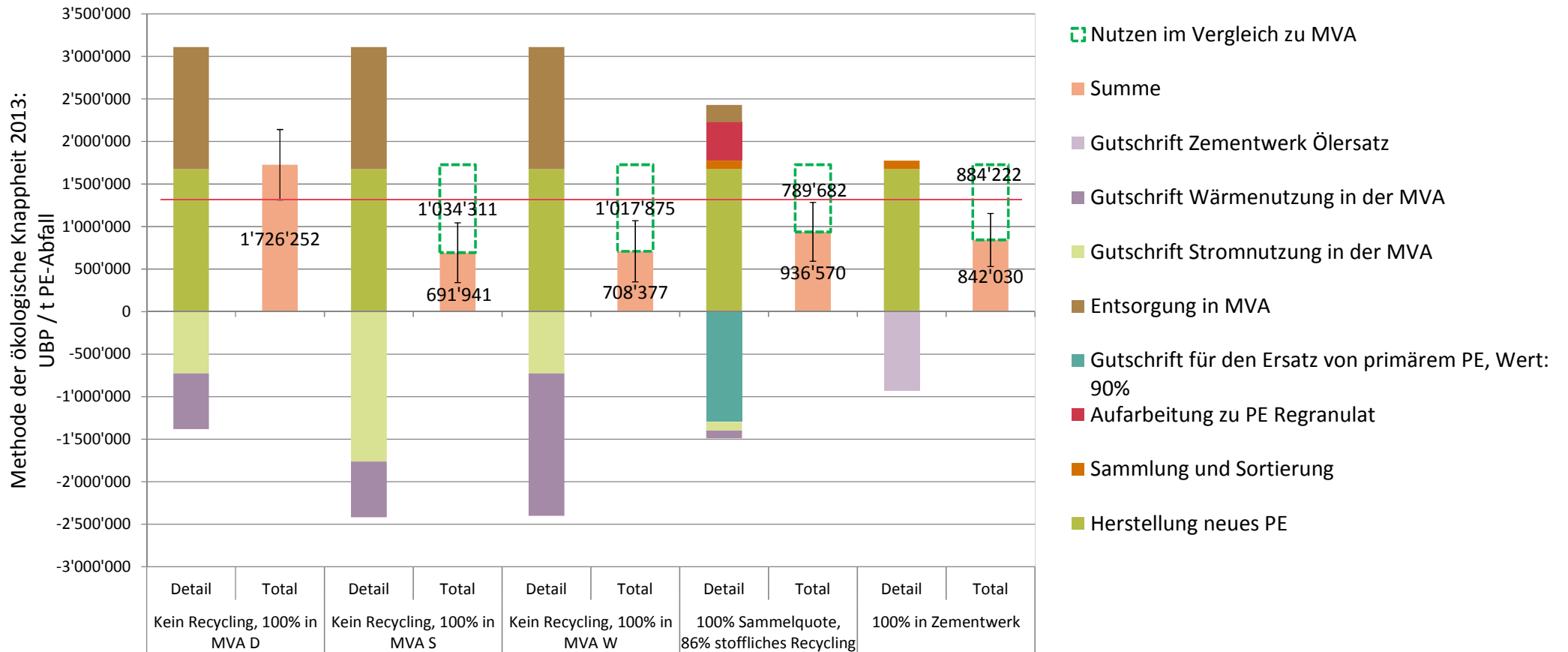
IPCC 2013, Treibhauspotential 100a



Anhang: Absolute Prozessbeiträge



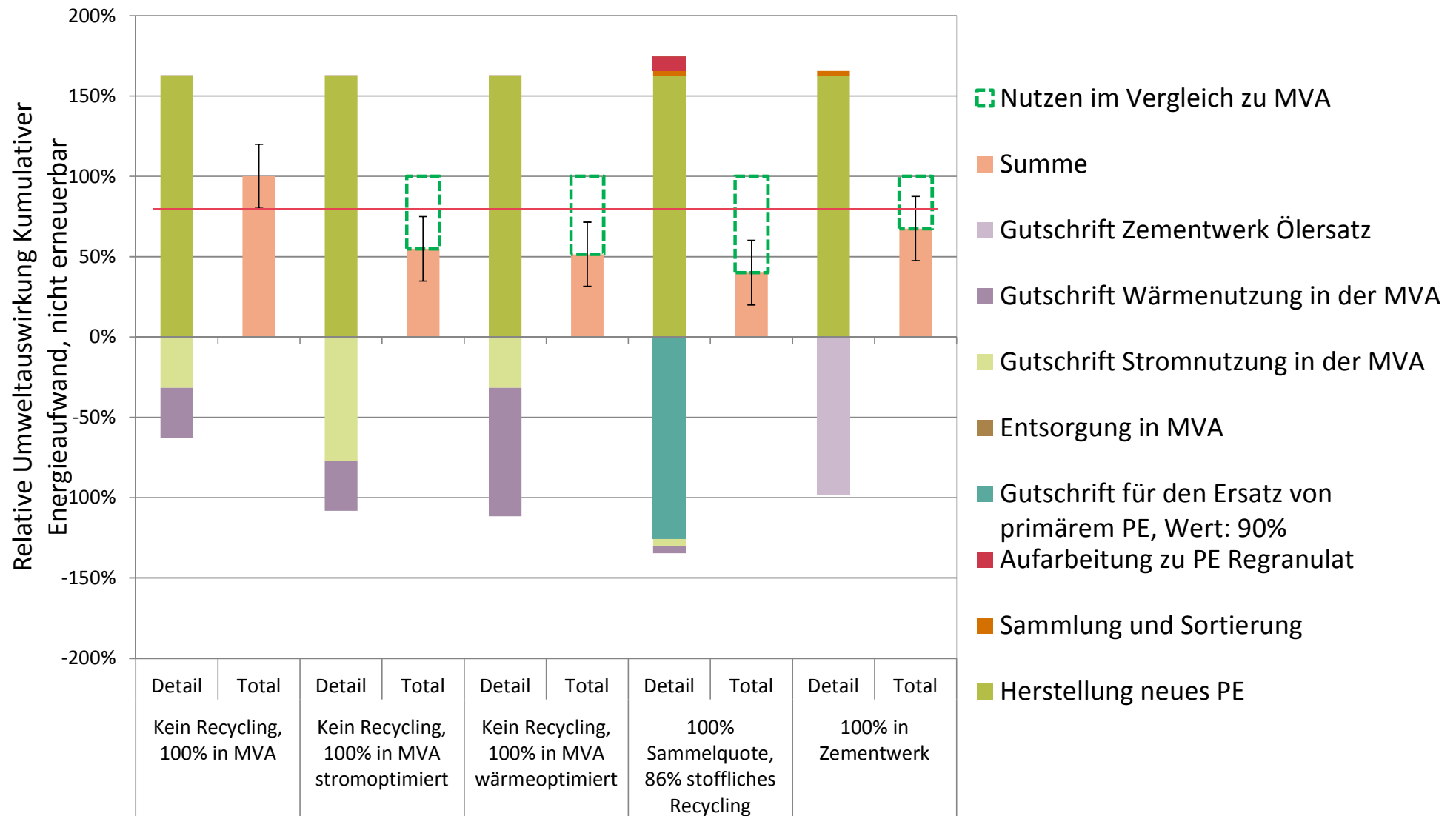
Methode der ökologischen Knappheit 2013



Anhang: Gutschrift für Kohle-Ersatz siehe auch Folie 9



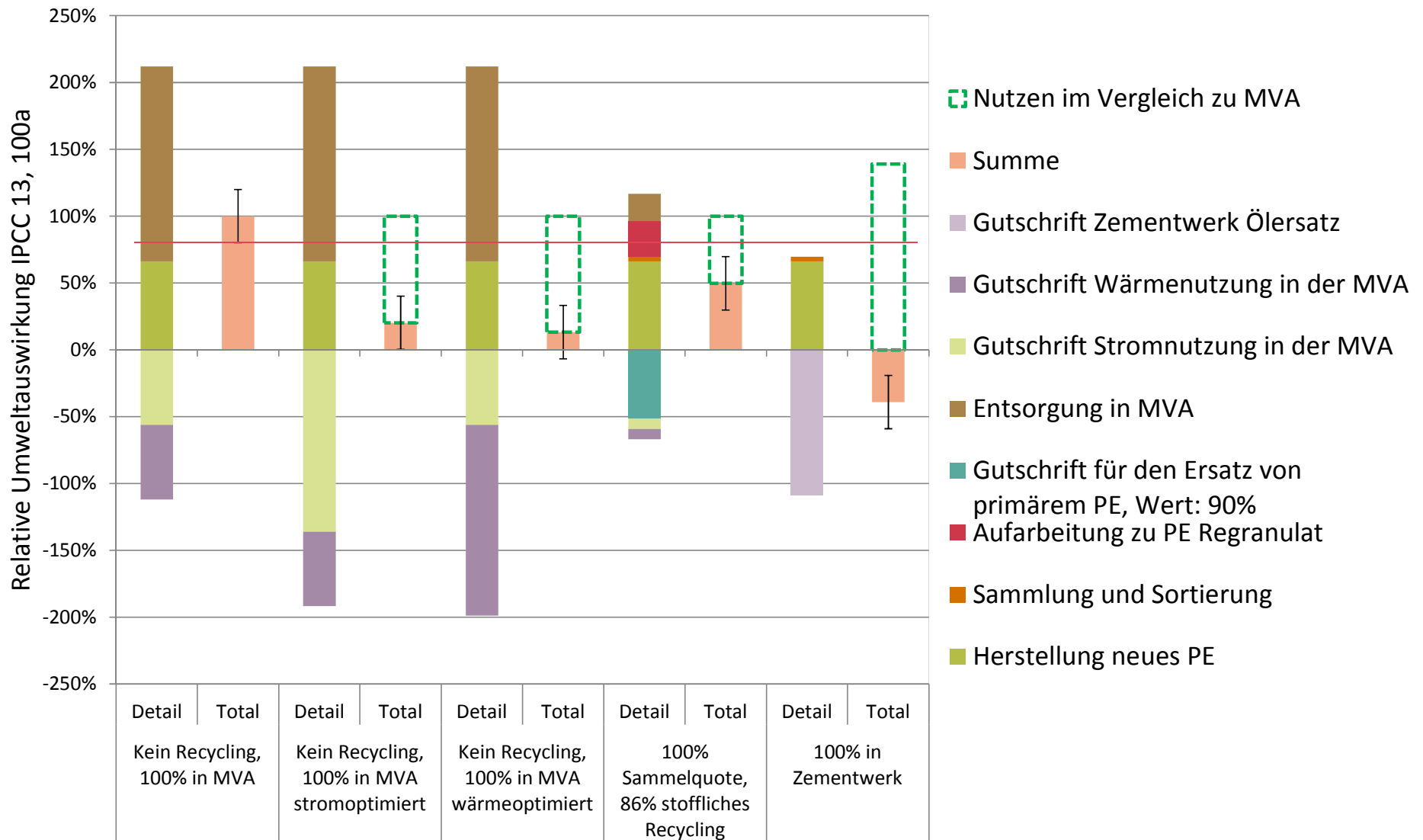
Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar



Anhang: Gutschrift für Kohle-Ersatz siehe auch Folie 9



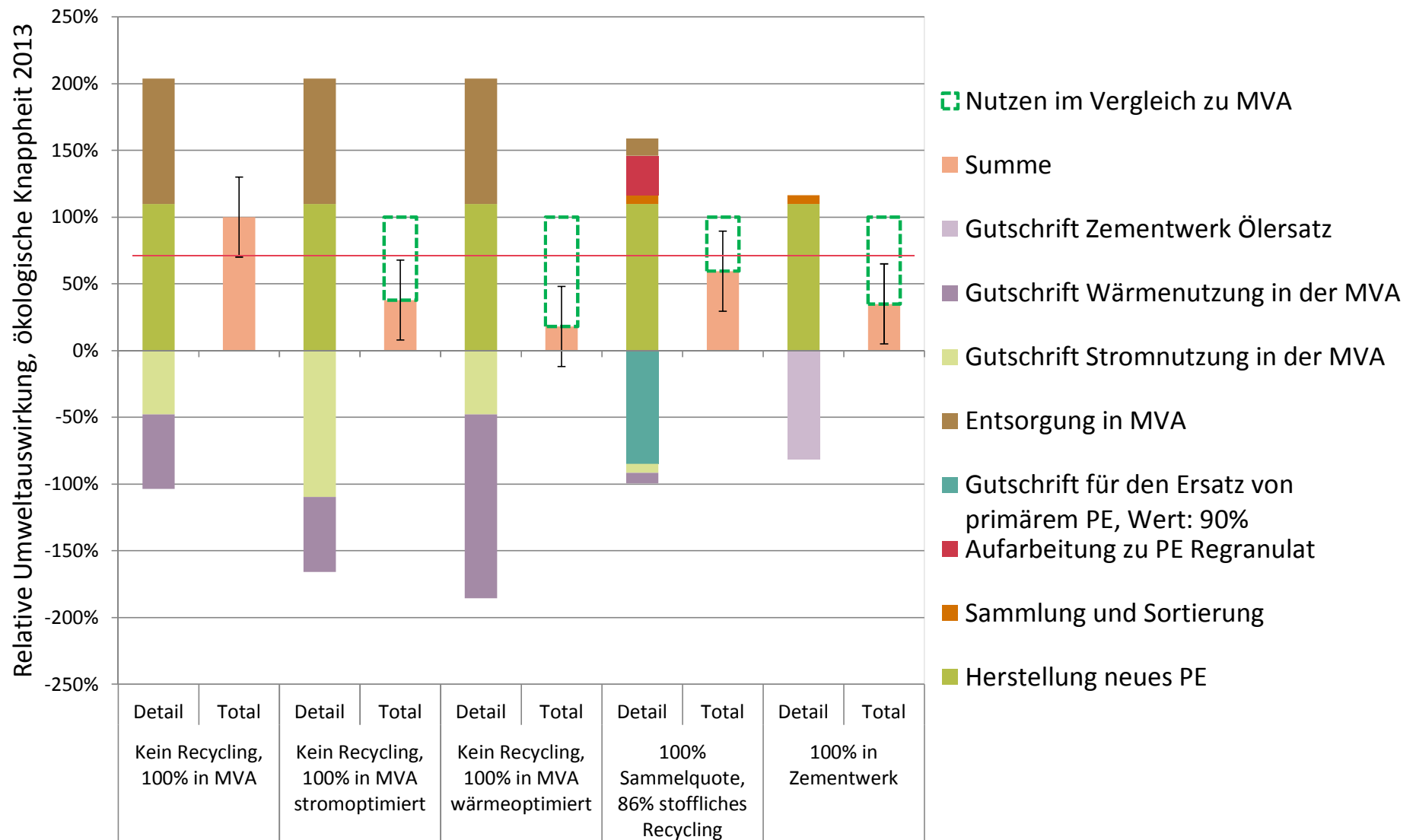
IPCC 2013, Treibhauspotential 100a



Anhang: Gutschrift für Kohle-Ersatz siehe auch Folie 9



Methode der ökologischen Knappheit 2013



Anhang: die Bedeutung von 1000 UBP am Beispiel deutscher Produkte/Aktivitäten



Produkt oder Aktivität (Deutsche Verhältnisse)	Menge, die ungefähr 1000 UBP entspricht
Autofahrt (mit durchschnittlicher Auslastung von 1.6 Personen)	5.0 km
Zugfahrt mit ICE	17 km
Flugreise innerhalb Europas	6.0 km
T-Shirt aus Baumwolle	1/25 eines T-Shirts
Seife	300 g
WC-Papier (FSC)	5 Rollen
Grafisches Recyclingpapier 80g/m ²	200 Blatt Papier A4
Grafisches FSC-Papier 80g/m ²	60 Blatt Papier A4
Rindfleisch	30 g
Brot	300 g
Bier	1 L
Zucker	640 g
Nutzung Laptop	30 h
Licht einer 12 Watt Energiesparlampe	7 Tage (à 24 h)
Deutscher Strom-Mix, ab Steckdose	1.9 kWh
Heizen mit Gas	0.6 m ³ Erdgas
Heizen mit Öl	340g Heizöl
Zeitraum, in welchem eine Person im Durchschnitt 1000 UBP generiert	47 min

Anhang: Umweltnutzen CH-Recycling-systeme

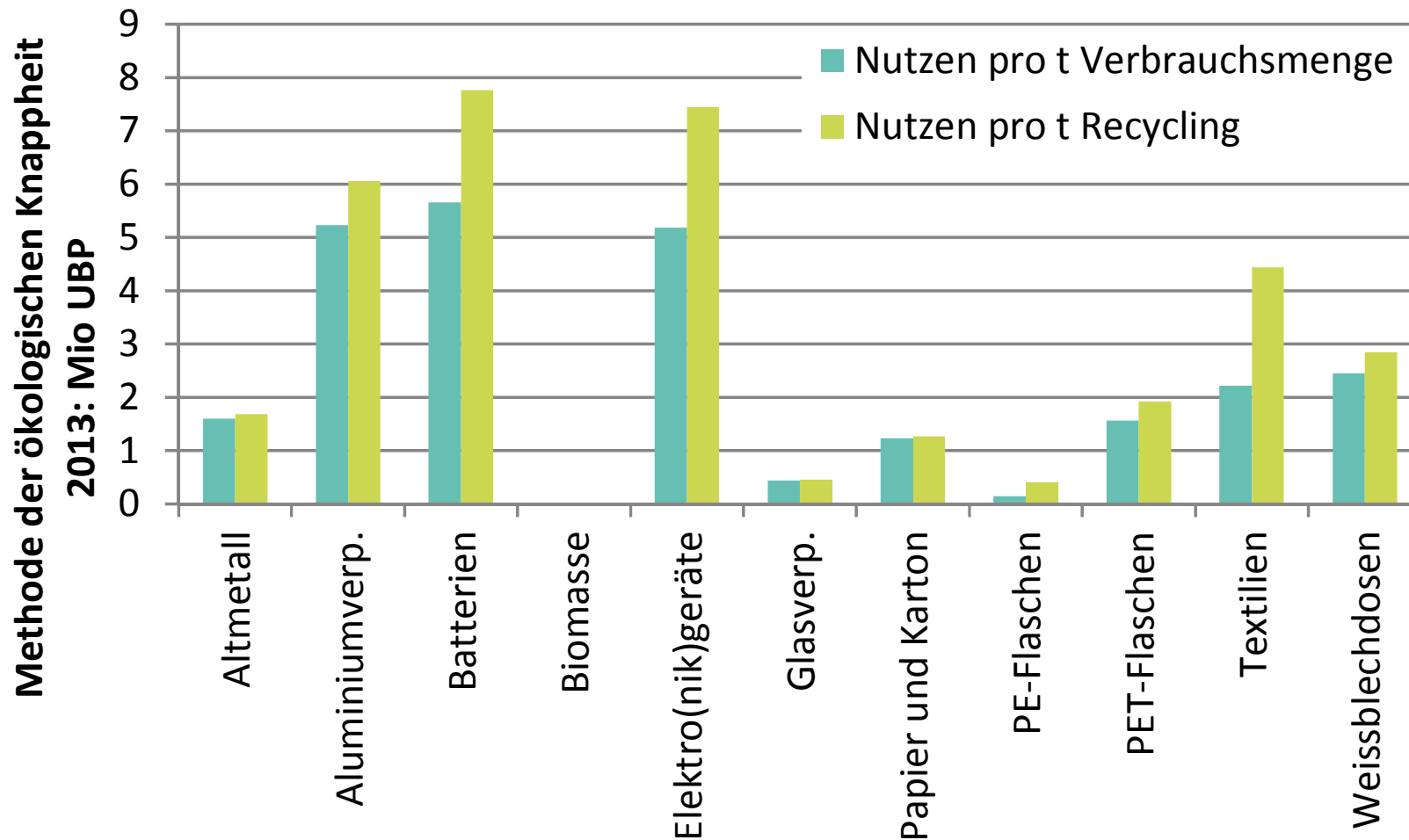


Im Auftrag von Swiss Recycling hat die Carbotech AG diverse bestehende Recyclingsysteme von Haushaltsabfällen betrachtet und mit dem Referenzszenario «kein Recycling: 100 % Entsorgung in durchschnittlicher Schweizer MVA respektive Deponie für nicht brennbare Materialien» verglichen.

In den folgenden Folien wird zuerst der Umweltnutzen der Recyclingsysteme pro Tonne Verbrauchsmenge und pro Tonne Sekundärmaterial dargestellt. Danach wird der absolute Umweltnutzen der Recyclingsysteme pro Jahr aufgezeigt.

Für weitere Informationen: www.swissrecycling.ch

Anhang: Umweltnutzen CH-Recycling- systeme pro Tonne Material in UBP pro Tonne



Anhang: Umweltnutzen CH-Recycling-systeme pro Jahr

