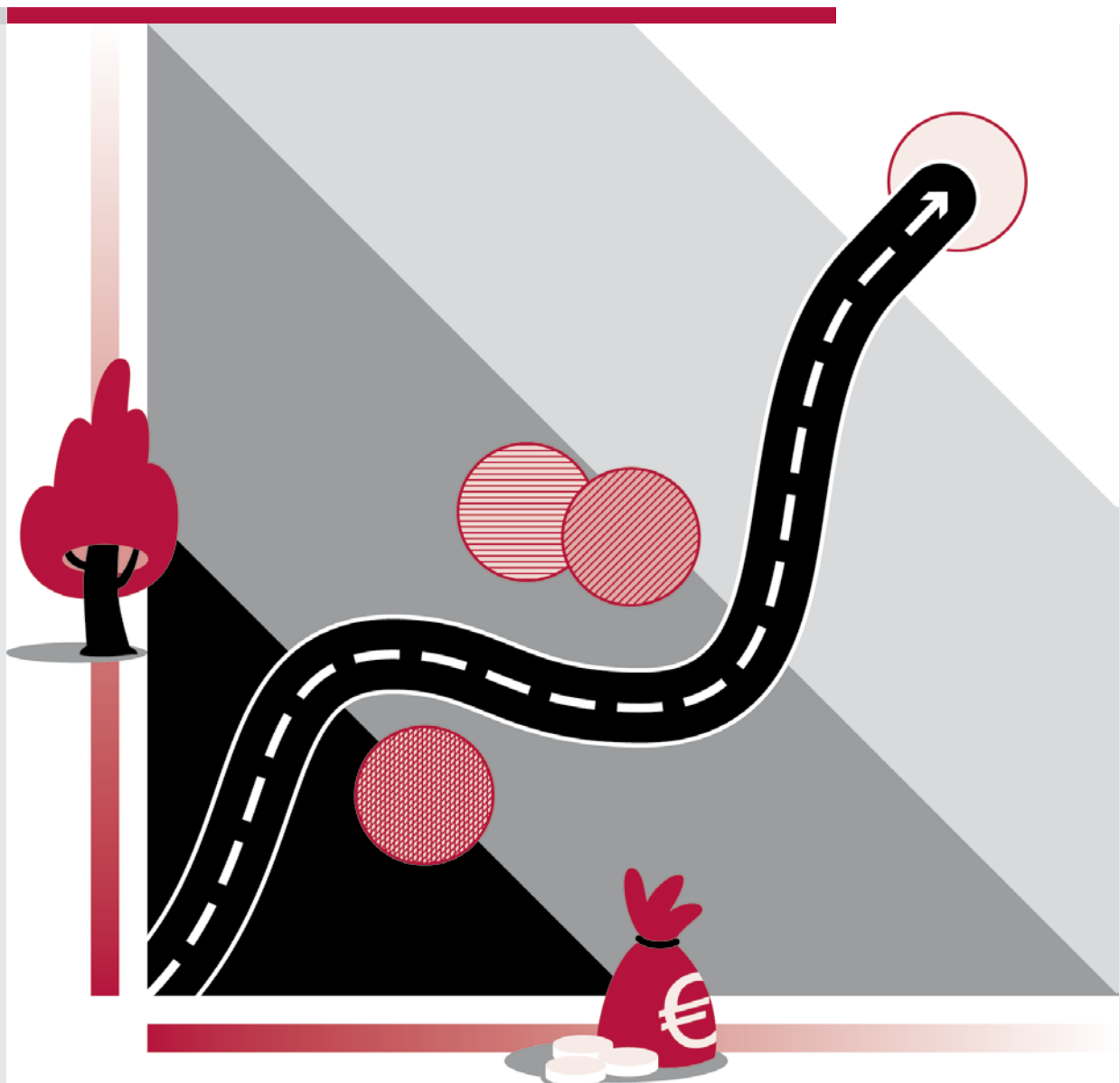




# ÜBERBAUEN EINER TEERHALTIGEN STRASSE

Ökoeffizienzstudie  
- Zusatzauswertung -



---

## IMPRESSUM

- Herausgeber:** Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft  
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz  
Kaiser-Friedrich-Str. 7  
55116 Mainz
- Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz  
Kaiser-Friedrich-Str. 1  
55116 Mainz
- Projektbearbeitung:** Dr. Alexandro Kleine  
Felix Müller  
TU Kaiserslautern
- Projektbetreuung:** Projektgruppe Stoffstrommanagement im Landesamt für Umwelt,  
Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz und  
Arbeitskreis Straßenbauabfälle Rheinland-Pfalz
- Titelbild:** Sascha Jaeck, Frankfurt am Main
- Satz und Layout:** LUWG
- Redaktionsschluss:** Februar 2009
- © November 2009

# INHALT

<b>1.</b>	<b>HINTERGRUND: TEERHALTIGER STRASSEN-AUFBRUCH</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>BASIS: BESTEHENDE ÖKOEFFIZIENZ-STUDIE</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>ZUSATZOPTIONEN: ÜBERBAUEN</b>	<b>5</b>
3.1	Diskussion zu erwartender Änderungen	5
3.2	Straßenspezifikationen und Systemgrenzen der Überbauoptionen	6
a)	Überbau mit Asphalt	6
b)	Überbau mit Beton	7
<b>4.</b>	<b>ERGEBNISSE IM ÖKOEFFIZIENZ-PORTFOLIO</b>	<b>8</b>
4.1	Base Case	8
4.2	Szenarien	9
4.2.1	Preisverhältnis zwischen Bitumen und Zement	10
4.2.2	Spätere Entsorgung kontaminierten Materials	10
a)	Spätere Entsorgung bei den beiden Überbau-Verfahren	11
b)	Spätere Entsorgung bei den beiden Überbau-Verfahren und bei In-Situ	11
<b>5.</b>	<b>FAZIT</b>	<b>12</b>
<b>6.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>14</b>
6.1	Wirkungsbilanzen	14
a)	Überbau mit Asphalt	14
b)	Überbau mit Beton	15
c)	In-Situ	16
d)	Deponie	17
6.2	Relevanz- und Rechenfaktoren	18

## **ABBILDUNGEN**

<b>Abbildung 1:</b>	<b>Schnittbild einer Straße nach Überbauen mit Asphalt</b>	<b>7</b>
<b>Abbildung 2:</b>	<b>Systemgrenze für das Überbauen mit Asphalt</b>	<b>7</b>
<b>Abbildung 3:</b>	<b>Schnittbild einer Straße nach Überbauen mit Beton</b>	<b>8</b>
<b>Abbildung 4:</b>	<b>Systemgrenze für das Überbauen mit Beton</b>	<b>8</b>
<b>Abbildung 5:</b>	<b>Neuer Base Case mit Überbauoptionen</b>	<b>9</b>
<b>Abbildung 6:</b>	<b>Versiebenfachung bzw. Verzehnfachung des Preises für Bitumen</b>	<b>10</b>
<b>Abbildung 7:</b>	<b>Kosten- und Umweltbelastungspotenzial durch kontaminiertes Material bei Überbau-Verfahren</b>	<b>11</b>
<b>Abbildung 8:</b>	<b>Kosten- und Umweltbelastungspotenzial durch kontaminiertes Material bei Überbau-Verfahren und In-Situ</b>	<b>12</b>

## 1. HINTERGRUND: TEERHALTIGER STRASSEN-AUFBRUCH

Die jahrzehntelange Verwendung von teerhaltigen Bindemitteln im Straßenbau stellt die Straßensanierung heutzutage vor eine Herausforderung. Der Teer enthält gefährliche Substanzen wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), die entfernt oder gesichert werden müssen. Im Sinne eines Stoffstrommanagements stellt sich die Herausforderung, den in großen Mengen entstehenden teerhaltigen Straßenaufbruch (TSA) umweltverträglich und möglichst hochwertig zu verwerten oder zu beseitigen. Als oberstes Gebot gilt dabei die Einhaltung des Arbeits-, Gewässer- und Bodenschutzes sowie abfallwirtschaftlicher Bestimmungen. Es sind aber auch wirtschaftliche Aspekte zu beachten.

## 2. BASIS: ÖKOEFFIZIENZ-ANALYSE „ENTSORGUNGSOPTIONEN VON PECH-/TEERHALTIGEM STRASSEN-AUFBRUCH“

In Rheinland-Pfalz wird teerhaltiger Straßenaufbruch gegenwärtig überwiegend im Straßenbau wieder eingesetzt. Die Ökoeffizienz-Analyse „Entsorgungsoptionen von pech-/teerhaltigem Straßenaufbruch“ vom Herbst 2007<sup>1</sup> untersucht mehrere alternative Entsorgungsmöglichkeiten im Rahmen einer gesamten Straßensanierung. Ein wichtiges Ergebnis war, dass ein modernes in-situ Kaltrecyclingverfahren bei sorgfältiger Durchführung Vorteile hinsichtlich der ökologischen wie auch der ökonomischen Bewertung haben kann. Als maßgebliche Determinanten einer vergleichsweise hohen Ökoeffizienz konnten u.a.

- die Vermeidung von Naturmaterial,
- die Rückführung des aufgearbeiteten TSA in den Ressourcenkreislauf,
- die Verringerung von Transportentfernungen sowie
- die Schonung von Deponieraum

1 erhältlich als PDF bei der SAM GmbH ([www.sam-rlp.de](http://www.sam-rlp.de)).

identifiziert werden. Allerdings muss sich das neue Kaltrecyclingverfahren stets an allen Möglichkeiten wie auch der bisherigen Deponierungslösung, der konventionellen Kaltrecycling-Aufbereitung und einer thermischen Behandlung messen lassen.

Unter bestimmten Umständen kann auch eine Deponierung gut abschneiden, was mit den Unwägbarkeiten durch verbleibende Schadstoffe bei den beiden Kaltrecyclingverfahren zusammenhängt. Die Zugabe des teerhaltigen Straßenaufbruchs im Zementwerk lässt Potenziale erkennen, sodass eine weitere Erkundung angebracht erscheint. Für diese beiden Entsorgungswege sei auf die Basisstudie verwiesen. Die Ökoeffizienz-Analyse, die auch der vorliegenden Zusatzauswertung zu Grunde liegt, wurde von der BASF SE entwickelt und bereits mehrere hundert Mal angewandt (siehe [www.oekoeffizienzstudie.de](http://www.oekoeffizienzstudie.de)).

## 3. ZUSATZOPTIONEN: ÜBERBAUEN

Alle bislang in der Basisstudie betrachteten Sanierungsmöglichkeiten verlangen den Ausbau des belasteten Straßenmaterials sowie weitere Schritte zu dessen Aufarbeitung bzw. Entsorgung. Selbst beim In-Situ-Verfahren nimmt ein Mixpaver die alten Asphaltsschichten kurzzeitig auf und bringt sie dann wieder in den Straßenkörper ein.

### 3.1 Diskussion zu erwartender Änderungen

Mit dem Überbauen auf Basis von Asphalt oder Beton existieren zwei Sanierungsvarianten, die gänzlich ohne den Ausbau der teerhaltigen Straßenbestandteile auskommen und in dieser Hinsicht nennenswerte Einsparpotenziale erwarten lassen. Das Überbauen der vorhandenen Straßen mit einer wasserundurchlässigen Deckschicht soll hierbei ein Auswaschen der PAK verhindern. Auf diese Weise wird in der Gegenwart nicht nur das Entstehen von Sonderabfallströmen vermieden, sondern

auch der Ressourceneinsatz für den Unterbau und ggf. für den weiteren Oberbau der Straße verringert. Unter Berücksichtigung der Planungsprämissen und der vorhandenen Schichten im Straßenaufbau ist das Überbauen schätzungsweise bei ca. 60% der teerbelaasteten Straßen möglich und könnte somit in hohem Maße zur Anwendung kommen.

Die Frage ist jedoch, welche zusätzliche Aufwendungen zu erwarten sind. Beispielsweise können in der Zukunft Materialströme entstehen, wenn die Straße doch einmal zu entsorgen ist. Daher ist im Weiteren u.a. zu klären:

- Welche Material- und Energieströme sind beim Überbauen zu erwarten?
- Wie unterscheidet sich hierbei insbesondere eine Asphalt- von einer Betonüberbauung?
- Wie ist das Überbauen dementsprechend gegenüber den bereits betrachteten Optionen aus der Perspektive einer gesamten Straßensanierung zu bewerten?
- Welchen Einfluss spielen insbesondere zukünftige Preise für die Baustoffe Asphalt und Zement?
- Wie sind langfristige Aspekte (Fortbestehen der Schadstoffe) im Straßenkörper zu bewerten?
- Welche Empfehlungen sind aus Sicht der Ökoeffizienz für die Praxis und für die Weiterentwicklung von bestehenden Überbauverfahren zu geben?
- Lassen sich manche Schlüsse der Überbauverfahren auf den Neubau einer Beton- bzw. Asphaltstraße übertragen?

### 3.2 Straßenspezifikationen und Systemgrenzen der Überbauoptionen

Der Überbau der alten Straße mit Asphalt oder Beton wird als Ertüchtigungsmaßnahme betrachtet. Es wird überdies angenommen, dass beide Materialien hinsichtlich der zugrundegelegten Mindesttragfähigkeit zur gleichen Dauerhaftigkeit führen. Wenngleich Beton qualita-

tiv betrachtet eine längere Lebensdauer erwarten lässt, umfasst der Bilanzraum einheitlich 30 Jahre. Danach sind die Straßen gegebenenfalls erneut zu ertüchtigen, was in der vorliegenden Studie aber keine Berücksichtigung findet.

Bei den Sanierungsoptionen liegt der gleiche Straßenunterbau zugrunde. Für den betrachteten Modellfall von Landes- und Kreisstraßen wird die Bauklasse IV gemäß RStO 01<sup>2</sup> angenommen. Diese Ergebnisse gelten auch bei geringfügigen Modifikationen. Beispielsweise sehen tatsächliche Sanierungsfälle z.T. auch andere Schichtdicken vor, die für die nachfolgenden Auswertungen jedoch nur von nachrangiger Bedeutung sind.

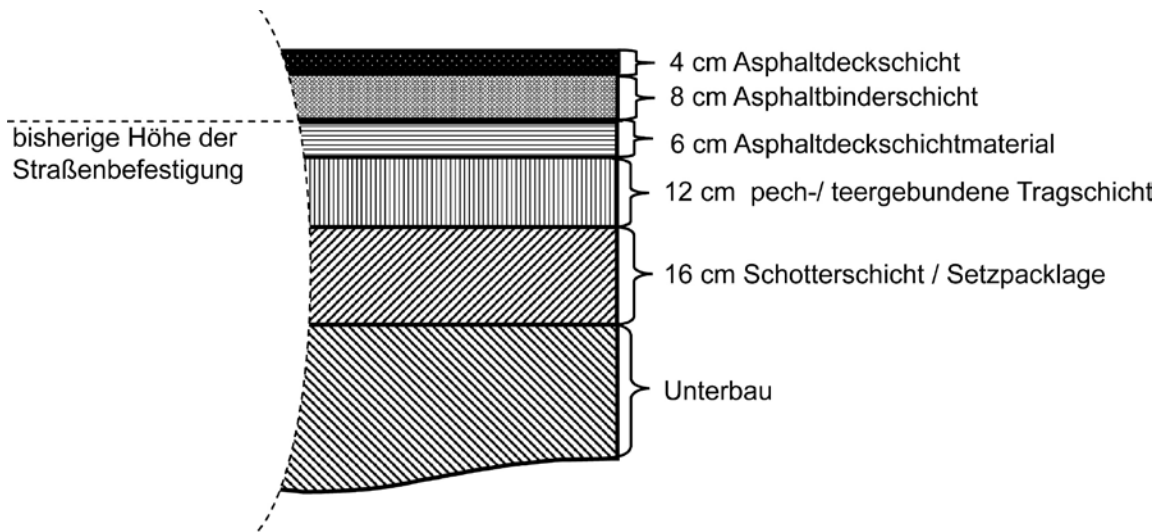
#### a) Überbau mit Asphalt

Die Asphaltvariante sieht im Modellfall eine 12 cm dicke Asphaltdeckschicht, bestehend aus einer direkt aufgetragenen Asphaltbinder- und einer Asphaltdeckschicht, vor. Eine etwaige Ausbesserung (Schließen von Rissen, Auffüllen von Ausbrüchen) erfordert ca. 1–3 % Material, was mit der Masse für die Asphaltdecken bereits berücksichtigt ist. Es ist eine sichere Abdeckung der pech-/teerhaltigen Schichten im Straßenkörper gegen Wasserzutritt von außen nötig. Dafür werden die Ränder der bestehenden Schichten mit den oberhalb aufzubringenden Asphaltdecken bis zum Rand überbaut und mit Bitumen, Bitumenemulsion, bituminösen Schlämmen oder ähnlichem zumindest am Seitenrand und auf der Abböschung (Schichtflanken) überzogen. Es entsteht ein zusätzlicher Materialaufwand, der aufgrund von Geringfügigkeit nicht weiter berücksichtigt wird.

---

<sup>2</sup> RStO 01: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2001, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.

Abbildung 1: Schnittbild einer Straße nach Überbauen mit Asphalt



Bei einer Sanierungsgröße von 10.000 m<sup>2</sup> liegen die Gesamtkosten bei etwa 200.000 €. Die Gesamtkosten sind ohne Abzug möglicher Zuschüsse gerechnet, um die ökonomischen Gesamteffekte der Baumaßnahme abzubilden. Bitumen wird mit einem angenommenen Preis von 200 €/Mg eingebracht.

arbeitung auf dem alten Straßenkörper fallen vergleichsweise geringe Dieselverbräuche an.

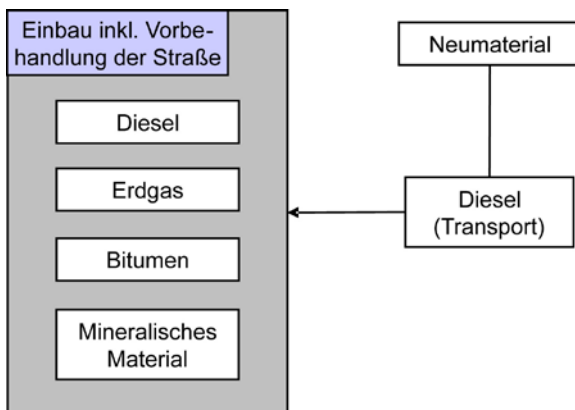
#### b) Überbau mit Beton

Die zweite Überbauoption sieht eine 20 cm dicke Betonschicht auf der alten Straße vor. Hier stehen für das angenommene und bisher kaum angewandte Betonverfahren – im Gegensatz zum Überbauen mit Asphalt – kaum geeignete Einbauzüge für die zu betrachtenden Fälle zur Verfügung. Ein Grund hierfür ist, dass bei den betrachteten Landes- und Kreisstraßen oft Trassierungen in Form schmaler Fahrbahnen, enger Kurven sowie Kuppen/Wannen vorherrschen, die mit den üblichen Einbaufertigern des Betonstraßenbaus bei Autobahnen zumeist so nicht zu befahren sind.

Die Gesamtkosten des modellhaft angenommenen Sanierungsfalles liegen, v. a. wegen des vergleichsweise hohen Arbeitsaufwandes bei schätzungsweise 400.000 €. Der Baustoff Zement wird mit einem Preis von 70 €/Mg verrechnet.

Für den Antransport des zu verbauenden Materials (Zement und mineralisches Material) über eine angenommene Strecke von 30 km ist ebenfalls Diesel nötig. Demgegenüber sind die benötigten Dieselmengen zum Verbauen der Materialien vergleichsweise niedrig.

Abbildung 2: Systemgrenze für das Überbauen mit Asphalt



Für den Überbau mit Asphalt ist Neumaterial, v. a. Bitumen und mineralisches Material, nötig. Zum Einsatz kommt Walzasphalt, der zuvor in einer Anlage unter Verwendung von Erdgas erhitzt und gemischt wurde. Die Transportentfernung ist im Durchschnitt mit 30 km anzunehmen, wofür Diesel verbraucht wird. Für die Ver-

Abbildung 3: Schnittbild einer Straße nach Überbauen mit Beton

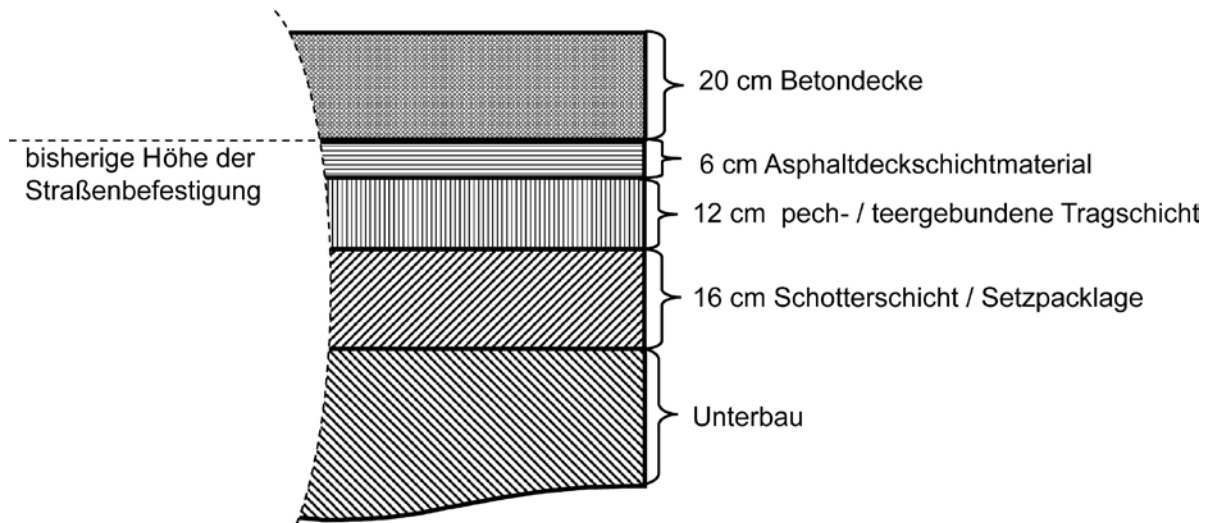
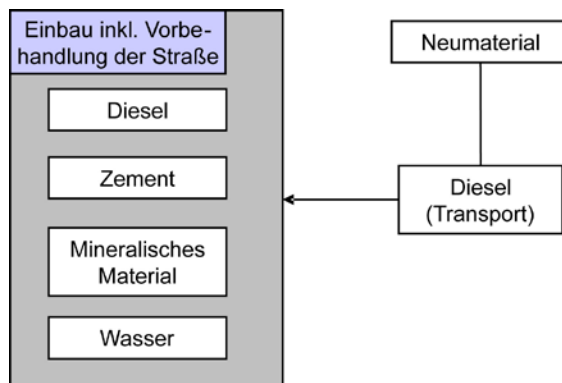


Abbildung 4: Systemgrenze für das Überbauen mit Beton



## 4. ERGEBNISSE IM ÖKOEFFIZIENZ-PORTFOLIO

Das Ökoeffizienz-Portfolio nach BASF-Methodik stellt die ökologisch-ökonomische Bewertung der betrachteten Optionen zueinander dar. Je weiter rechts eine Option im Portfolio liegt, desto kostengünstiger (ökonomisch vorteilhafter) ist sie. Je weiter oben eine Option ist, desto weniger belastet sie insgesamt die Umwelt. Die durchschnittliche Kosten- und Umweltbelastung aller betrachteten Optionen liegt im Mittelpunkt des Portfolios bei den Koordinaten 1,0 / 1,0. Punkte rechts der Hauptdiagonalen sind überdurchschnittlich ökoeffizient und links davon unterdurch-

schnittlich ökoeffizient. Die im Ökoeffizienz-Portfolio abgebildeten Optionen sind also stets im Vergleich zueinander zu betrachten.

Die Abstände der Optionen auf beiden Achsen spiegeln die Belastungsniveaus der Kosten- und der Umweltdimension wider: Ist die Kostenbelastung (gemessen am nationalen Bruttoinlandsprodukt) erheblich bedeutender als die Umweltbelastung (bezogen auf die gesamtdeutsche Belastung), so liegen die Optionen auf der ökonomischen Achse weiter auseinander. Diese Bedeutungsrelation macht sich in den Szenarien bemerkbar, wenn beispielsweise eine Variation der Kostenbelastung auch die Skalierung der ökologischen Werte ändert.

### 4.1 Base Case

Der sogenannte „Base Case“ umfasst die Ergebnisse der beiden Überbauoptionen im Vergleich zu den beiden vormals ökoeffizientesten Optionen „In-Situ“ und „Deponie“. Damit soll erkundet werden, inwiefern das Überbauen die bisherigen Empfehlungen der Basisstudie ergänzen und verbessern kann.

Das In-Situ-Verfahren, bei dem die teerhaltigen Bestandteile der alten Straße mittels eines Mixpavers in einer Bitumen-Zement-Mischung vor Ort eingekapselt werden, ist hierbei der Refe-

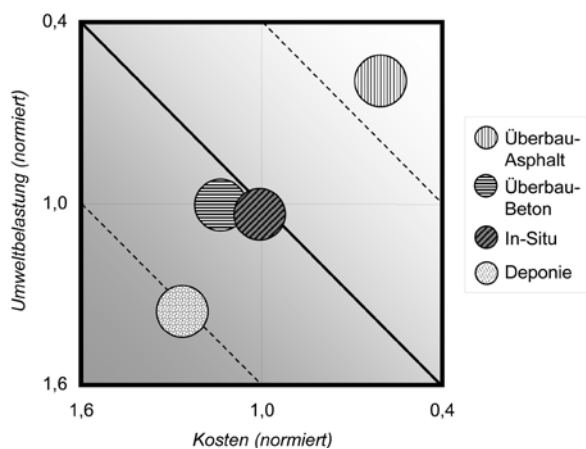


renzpunkt für das bislang ökoeffizienteste Verfahren. Im betrachteten Modellfall von 10.000 m<sup>2</sup> zu sanierender Kreisstraße, kostet dieses Sanierungsverfahren 350.000 €.

Eine Deponierung ist die Referenz für eine sichere und abschließende Entsorgungslösung, da hier – im Gegensatz zu In-Situ – keine langfristigen Risiken aus PAKs zu erwarten sind. Hier wird die Straße von Grund auf neu gebaut, was insgesamt 450.000 € kostet. Der Preis zur Deponierung des Materials wird mit 30 €/Mg angenommen, wodurch etwa ein Viertel der Gesamtkosten hierauf zurückzuführen sind.

Gegenüber der Basisstudie verändern sich die Ergebnisse im neuen Base Case, da sie die Umwelteinwirkungen und Kosten aller jetzt betrachteten Optionen relativ zueinander betrachten – die beiden früheren Optionen „HGT“ und „Thermik“ werden hierbei nicht weiter berücksichtigt.

Abbildung 5: Neuer Base Case mit Überbauoptionen



Das Überbauverfahren mit Asphalt hat die vergleichsweise höchste Ökoeffizienz, d.h. geringste Kosten verbunden mit niedrigster Umweltbelastung. Demgegenüber haben In-Situ und das Überbauverfahren mit Beton eine nur durchschnittliche Ökoeffizienz – beim ersteren ist ein relativ hoher Aufwand an Energie- und Rohstoffressourcen nötig und beim letzteren schlägt die Umweltbelastung der Zementproduktion (Luftemissionen und Gefährdungspotenzial) durch. Die

Option „Deponie“, d.h. ein Abtragen und Deponieren der teerhaltigen Straßenschichten mit anschließendem Neubau, fällt aufgrund der zu entsorgenden und neu zu verbauenden Massen im Vergleich mit den anderen Optionen ab.

## 4.2 Szenarien

Die Szenarien erkunden mögliche Effekte durch Variation bedeutender Parameter. Dies ist zunächst der Einfluss der Preise für die wichtigen Baumaterialien Bitumen und Zement. Anschließend wird auch ein über den Betrachtungszeitraum hinausgehender Effekt durch eine spätere Beseitigung erörtert.

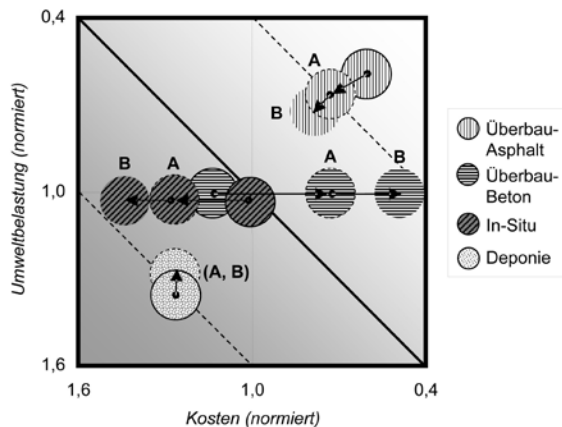
Im Folgenden sind nur solche Szenarien abgebildet, die inhaltlich wesentlich zur Studie beitragen und zu bedeutenden Änderungen der Ergebnisse führen. Viele andere Einflüsse wie etwa kleine Abweichungen der Schichtdicken oder mäßige Änderungen der zugrundeliegenden Kosten haben keine erheblichen Auswirkungen auf das Gesamtergebnis. Beispielsweise würde sich die Deponierungsoption selbst bei einer kostenfreien Entsorgung bzw. Einsparung von 25 % der Gesamtkosten gegenüber den anderen Verfahren nur mäßig verbessern.

Bei der Interpretation der Portfolios ist die relative Ergebnisdarstellung zubeachten. Das heißt, alle Optionen sind bei jedem einzelnen Schritt um den Mittelpunkt (1,0/1,0) angeordnet. Der Abstand einer Option zwischen zwei Schritten ist daher nicht als absolute Veränderung zu interpretieren.

### 4.2.1 Preisverhältnis zwischen Bitumen und Zement

Die Materialien Bitumen und Zement verursachen über ihren Kaufpreis derzeit ca. ein Siebtel der Gesamtkosten einer Überbauoption. Die zukünftige Preisentwicklung beider Stoffe ist nicht verlässlich vorauszusagen. Eine Variation des Verhältnisses beider Preise erlaubt jedoch Interpretationen hinsichtlich des Ergebnisses im Ökoeffizienz-Portfolio.

Abbildung 6: Versiebenfachung bzw. Verzehnfachung des Preises für Bitumen



- A: Versiebenfachung des Preises für Bitumen
- B: Verzehnfachung des Preises für Bitumen
- (...) Veränderung der Position methodisch bedingt (dynamische, relative Darstellung im Portfolio)

Unter der Annahme, dass sich der Preis von Bitumen versiebenfacht während der Preis für Zement stabil bleibt, sind beide Überbau-Optionen gleich teuer (Punkte im Portfolio mit „A“ gekennzeichnet). Dadurch wird das ökonomische Ergebnis des Asphaltverfahrens im Gesamtvergleich schlechter und die kostenmäßige Bewertung des Betonverfahrens rückt nach rechts unter die Asphalt-Option. Die Änderungen in ökologischer Hinsicht sind ausschließlich auf die dynamische Berechnungsmethode zurückzuführen, wodurch das Ergebnis hier vergleichsweise stärker von der Kostenbelastung als von der Umweltbelastung bestimmt wird. Dies bedeutet in der grafischen Darstellung, dass die Punkte vertikal schwächer als zuvor streuen.

Erst ab einer Verzehnfachung des Preises für Bitumen ist mit einer ähnlichen Ökoeffizienz beider Überbau-Optionen zu rechnen (Punkte mit „B“). Beide Punkte liegen dann im Ökoeffizienz-Portfolio annähernd auf der rechten Diagonale. Das Asphaltverfahren kostet in diesem Fall insgesamt über 550.000 €, während das Betonverfahren noch immer

400.000 € kostet. Die Option In-Situ, welche ebenso einen hohen Bitumenbedarf aufweist, verschlechtert sich im neuen Preisgefüge auf das niedrigere Ökoeffizienzniveau des Deponierungsverfahrens.

Die Notwendigkeit solch extremer Preisänderungen zulasten des Bitumens signalisiert: Eine wesentliche Verbesserung des Beton-Überbauverfahrens allein durch die Materialkosten ist nicht zu erwarten. Selbst wenn das selten angewandte Beton-Verfahren durch andere Maßnahmen oder technischen Fortschritt wesentlich günstiger realisiert werden kann, so ist die Ökoeffizienz durch die höhere Umweltbelastung voraussichtlich immer noch geringer als beim Asphalt-Verfahren. Der Punkt gleicher Ökoeffizienz wird – bei unverändert angenommener Umweltbelastung und 200.000 € für das Asphaltverfahren – erst bei einem Viertel der Gesamtkosten (100.000 statt 400.000 €) für das Betonverfahren erreicht.

#### 4.2.2 Spätere Entsorgung kontaminierter Materials

Die Bewertung der beiden Überbauoptionen ging bislang davon aus, dass die Schadstoffe unter der neuen Asphalt- oder Betondecke gesichert sind. Die Abdeckung verhindert ein Auswaschen der Schadstoffe vergleichbar zum In-Situ-Verfahren. Die Frage ist aber, inwiefern der Verbleib der Schadstoffe dennoch eine ökologische und ökonomische Gefährdung darstellt: Zu einem gewissen Zeitpunkt muss die Straße ohnehin grundlegend erneuert werden. Der weitere Verbleib der teerhaltigen Bestandteile ist mit vielen Unwägbarkeiten verbunden. Gibt es dann andere Beseitigungs- oder Behandlungsverfahren? Wie hoch werden dann die Entsorgungskosten sein? Wird unter Berufung auf das Vorsorgeprinzip vielleicht eine vorzeitige Sanierung gefordert?

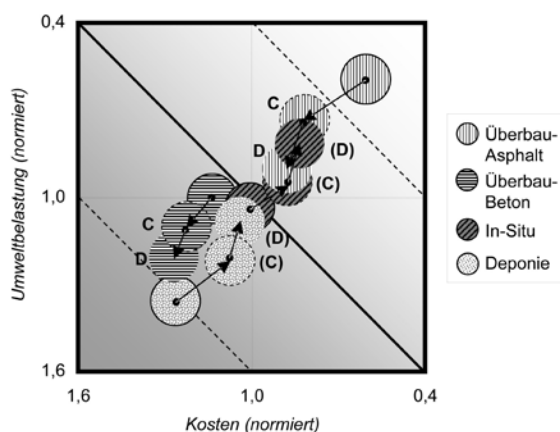
Die Bewertung des Szenarios gründet auf folgendem Gedankengang: würde die Straße komplett bewertet oder verkauft, so ist auch der Risikofaktor „PAK“ zu berücksichtigen. Der neue Eigentümer würde also die noch zu erwartenden Aufwendungen antizipieren. Dafür werden im

Folgenden die kontaminierten Bestandteile als zu deponierender Abfall (a) und dann auch der Ersatz der entfernten Teile (b) bewertet.

#### a) Spätere Entsorgung bei den beiden Überbau-Verfahren

In einem ersten Schritt („C“) wird angenommen, die noch pech-/teerhaltigen Straßenbestandteile (alte Asphalt-schicht und Teile des Schot-ters) seien zu einem Preis von 30 €/Mg zu depo-nieren. Die zusätzliche ökologische Belastung durch die Entsorgung der belasteten Straßenbe-standteile ist analog zur Option „Deponie“ – es fallen jeweils 4.140 t Bauschutt an – zu sehen. Es verbleiben die unbelasteten Bestandteile (neue Stra-ßendecke, restliche Teile der Schot-terschicht und der Straßenunterbau).

Abbildung 7: Kosten- und Umweltbelastungs-potenzial durch kontaminiertes Material bei Überbau-Verfahren



- C: pech-/teerhaltiger Aufbau von Überbau-Asphalt und Überbau-Beton deponiert
- D: wie C zuzüglich Kauf von Bitumen und mineralischen Baustoffen (Naturmaterial)
- (....) Veränderung der Position methodisch bedingt (dynamische, relative Darstellung im Portfolio)

Durch die Entsorgung verschlechtert sich die Ökoeffizienz der beiden Überbauoptionen merklich im Vergleich zu den beiden übrigen Optionen: Erstere rücken weiter nach unten links. In-Situ und die Deponie rücken – aus methodischen

Gründen der relativen Darstellung entgegen-gesetzt dazu – nach oben. Wird ein abwei-chender Deponierungspreis angenommen, so ändern sich die Optionen in ökonomischer Hinsicht entsprechend stärker oder schwächer.

Das Überbauen mit Asphalt bleibt bislang die ökoeffizienteste Option.

Schritt „D“ beinhaltet eine strengere Bewer-tung: Die unbelasteten Neumaterialien Bitu-men (75 t 70 €/Mg) und mineralische Bau-stoffe (4.065 t á 10 €/Mg) sind im Austausch für die belasteten Bestandteile einzubringen. Dann wirken sich die Änderungen im Portfolio weiter zulasten der Überbauverfahren und zugunsten der Optionen Deponie und In-Situ aus. Ein Überbauen mit Asphalt würde in dem Fall knapp unter In-Situ fallen. Auch das Über-bauen mit Beton würde unter den Ökoeffizi-enz-Wert der Deponie sinken.

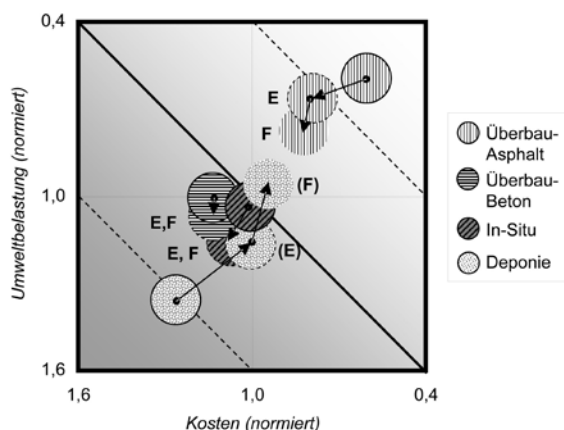
Nochmals zur Erinnerung: die Optionen In-Situ und Deponie verändern ihre Lage nur, weil sie wegen der höheren Kosten- und Umwelt-belastung der beiden Überbau-Optionen neu im Portfolio angeordnet werden.

#### b) Spätere Entsorgung bei den beiden Überbau-Verfahren und bei In-Situ

In einem weiteren Schritt („E“) wird berück-sichtigt, dass bei In-Situ eine ähnliche Pro-blemlage wie bei den Überbauverfahren exi-stiert: die Schadstoffe sind zwar im Kaltrecyclat eingekapselt, bestehen aber wei-ter. Deswegen wird in Schritt E auch In-Situ analog zu Schritt C mit der Deponierung des kontaminierten Materials belastet. Bei In-Situ sind durch die Verarbeitung der pech-/teerhal-tigen Straßenbestandteile zu einer neuen Tragschicht geringfügig mehr kontaminierte Massen (4.610 t) als bei den beiden Überbau-Optionen zu entsorgen. Die vier Optionen unterscheiden sich in der Gesamtbetrachtung kaum noch hinsichtlich der zu deponierenden Massen, weswegen nun andere Umweltkate-gorien an Bedeutung gewinnen. Das Überbau-en mit Asphalt tritt hier als ökoeffizienteste Option hervor, während die anderen in einem beinahe gleichen Punkt zusammenfallen.

Werden nun in Schritt „F“ auch für In-Situ neue Materialien benötigt, so bleibt Überbau-Asphalt noch die ökoeffizienteste Option, gefolgt von der Option Deponie. In-Situ und Überbau-Beton bleiben in der relativen Darstellung etwa an der Stelle des vorangegangenen Schrittes.

**Abbildung 8: Kosten- und Umweltbelastungspotenzial durch kontaminiertes Material bei Überbau-Verfahren und In-Situ**



- E: pech/-teerhaltiger Aufbau von Überbau-Asphalt, Überbau-Beton und In-Situ deponiert
- F: wie E zuzüglich Kauf von Bitumen und mineralischen Baustoffen (Naturmaterial)
- (...) Veränderung der Position methodisch bedingt (dynamische, relative Darstellung im Portfolio)

Wird das Risiko, dass die teerhaltigen Bestandteile zukünftig doch entsorgt und durch Neumaterial ersetzt werden müssen, als hoch eingeschätzt, so ist eine weitergehende Sanierung der Straße gemäß Option Deponie in Betracht zu ziehen. Bei Wieder-/Weiterverwendung von alten, nicht kontaminierten Baumaterialien aus anderen Baumaßnahmen sind die Änderungen zugunsten der Deponie voraussichtlich weniger bedeutend.

## 5. FAZIT

Das Überbauen mit Asphalt birgt ein großes Potenzial zur Einsparung von Kosten und Ressourcen sowie zur Verminderung von Luftemissionen. Dies ist auf den geringen Aufwand für die zusätzlichen Asphaltsschichten zurückzuführen. Problematisch ist lediglich, dass es sich um einen Vorteil handelt, der von späteren Entsorgungstechniken und -pflichten abhängt: Müssen die PAK-kontaminierten Schichten des Kaltrecyclingverfahrens (u.a. In-Situ) später doch auf eine Deponie verbracht werden, so bleibt das Überbauen mit Asphalt die ökoeffizienteste Option. Gilt In-Situ als ein sicheres Verfahren zur Schadstoffeinkapselung, so dass es später keine besonderen Entsorgungspflichten gibt, so nimmt die Vorteilhaftigkeit des Überbau-Asphaltverfahrens ab. Insgesamt ist aber davon auszugehen, dass ein Überbauen mit Asphalt aller Voraussicht nach sinnvoll ist.

Das Überbauen mit Beton ist in keiner Weise zu empfehlen. Diese Option schneidet von allen hier betrachteten Verfahren am schlechtesten ab, da die Zementherstellung hohe Luftemissionen (beinhaltet zum großen Teil Treibhausgas) und weitere Gefährdungspotenziale für den Menschen besitzt. Auch die hohen Kosten des in dieser Weise bisher kaum praktizierten Betonverfahrens verschlechtern die Ökoeffizienz erheblich. Insgesamt kommt daher lediglich ein Überbauen mit Asphalt in Frage. Diese Erkenntnis ist auf neugebaute Straßen (ohne PAK-Problematik) zu übertragen. Dort ist der Unterschied zwischen Asphalt- und Betonstraße nach einer ersten überschlägigen Rechnung (in der vorliegenden Zusatzstudie nicht ausgeführt) noch stärker ausgeprägt. Der Einsatz hoher Mengen von Sekundär-/Ersatzbrennstoffen könnte die Bilanz der Zementherstellung verbessern, die Ergebnisse aber vermutlich nicht gänzlich ändern.

Die beiden Überbauverfahren wie auch die Option In-Situ sorgen im Regelfall für eine ausreichende Sicherung der belasteten Schichten. Solange die Abdeckung bzw. die Einkapselung gewährleistet ist, geht die größte Gefahr für den

Menschen durch eine unsachgemäße Erhitzung aus. Daher ist der Verbleib der kontaminierten Straßenschichten zu dokumentieren, was zu einem administrativen Mehraufwand gegenüber unbelasteten Straßen führt.

Die Option „Deponie“ ist zu wählen, falls ein Überbauen oder eine Sanierung mittels Mixpaver („In-Situ) technisch nicht möglich oder aufgrund der langfristigen Effekte (Schadstoffe bleiben im Straßenkörper enthalten) grundsätzlich nicht gewollt ist. Das heißt, die Beseitigung aller teerhaltigen Bestandteile und ein Neuaufbau der Straße bleibt als sicherstes, erprobtes und sofort anwendbares Sanierungsverfahren erhalten. Diese Empfehlung gilt trotz der vergleichsweise schlechten Position im hier errechneten Base Case, da das Deponierungsverfahren in der umfassenderen Basisstudie noch als zweitbeste Option nach In-Situ gilt. Ist in Zukunft mit einer zwangsweisen Entsorgung der kontaminierten Straßenbestandteile zu rechnen, so rückt die Option Deponie nah an das ansonsten führende Asphalt-Überbauverfahren heran.

Darüber hinaus sind weitere innovative Sanierungsverfahren möglich. Hierzu sei auf die Basisstudie verwiesen, wo beispielsweise die Verwendung teerhaltigen Straßenaufbruchs als Zuschlagsstoff in einem Zementwerk erkundet wurde. Auch seien weitere Erkundungen im Sinne der Ökoeffizienz-Analyse angeraten, weil viele Möglichkeiten für eine ökonomisch und ökologisch vorteilhafte Beeinflussung umwelttechnischen Fortschritts bestehen.

Ob das Überbauen mit Asphalt als ein rationelles und durchweg ökoeffizientes Verfahren in Betracht kommt oder ob Bedenken zugunsten einer sofortigen Deponierung überwiegen, hängt letztlich von grundsätzlichen Erwägungen ab und wird vielfach im Einzelfall zu entscheiden sein. Anhaltspunkte für diese Entscheidung liefert die vorliegende Studie.

## 6. ANHANG

Die Wirkungsbilanzen (Abschnitt 6.1) stellen die einzelnen Umwelteinwirkungen jeder Sanierungsoption dar.

Die Relevanz- und die Rechenfaktoren (Abschnitt 6.2) geben die Gewichtung der einzelnen Umwelteinwirkungen für eine Aggregation wieder.

### 6.1 Wirkungsbilanzen

#### a) Überbau mit Asphalt

Stoffverbrauch [kg/NE]		
Stoff	Menge	gew. Menge
1. Steinkohle	8.723	982
2. Öl	180.626	63.858
3. Gas	12.904	4.548
4. Braunkohle	12	2
5. NaCl	25	0
6. Schwefel	1	1
7. Phosphor	0	0
8. Eisen	152	68
9. Kalk	50	1
10. Bauxit	52	24
11. Sand	2.764.000	20.602
Summe		<b>90.085</b>

Energieverbrauch [MJ/NE]	
Energieträger	Menge
1. Kohle	252.963
2. Öl	7.775.995
3. Gas	696.351
4. Wasser	5.948
5. Nuklear	175.090
6. Steinkohle	228
7. Sonstiges	137
8. Biomasse	295
Summe	<b>8.907.006</b>

Kosten [Euro/NE]	
Kosten	Betrag
Kosten	200.000
Summe	<b>200.000</b>

Emissionen		
Luft [g/NE]	Menge	Potenzial
1. CO <sub>2</sub>	79.971.955	GWP
2. SO <sub>x</sub>	474.136	<b>80.956.661</b>
3. NO <sub>x</sub>	775.417	ODP
4. CH <sub>4</sub>	46.890	<b>0</b>
5. NM-VOC	547.847	POCP
6. halogenierte KWs	0	<b>228.233</b>
7. NH <sub>3</sub>	0	AP
8. N <sub>2</sub> O	0	<b>1.018.959</b>
9. HCl	2.308	
Wasser [g/NE]	Menge	krit. Vol. [m <sup>3</sup> ]
1. CSB	2.080	28
2. BSB	1.141	76
3. N-Gesamt	201	15
4. NH <sub>4</sub> -N	131	13
5. P-Gesamt (g P)	0	0
6. AOX	0	0
7. SM	812	812
8. KW	3.916	1.958
9. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	19	0
10. Cl <sup>-</sup>	1.643	2
Summe		<b>2.904</b>
Boden [kg/NE]	Menge	gew. Menge
1. Sonderabfall	87	437
2. Deponieabfall	595	595
3. Bauschutt	0	0
4. Abraum	305.016	12.201
Summe		<b>13.232</b>

Fläche [m <sup>2</sup> /NE]		
Fläche	Menge	gew. Fläche
1. Wald	0	0
2. Grünfläche, Brache	-15.441	-23.162
3. konv. Landbau	6.598	14.845
4. versiegelt	7.113	36.011
5. Strassen, Schienen, Kanäle	1.743	13.238
Summe		<b>40.932</b>



## b) Überbau mit Beton

Stoffverbrauch [kg/NE]		
Stoff	Menge	gew. Menge
1. Steinkohle	160.806	18.104
2. Öl	33.519	11.850
3. Gas	15.307	5.395
4. Braunkohle	63	11
5. NaCl	8	0
6. Schwefel	2	4
7. Phosphor	0	0
8. Eisen	616	276
9. Kalk	973.630	10.263
10. Bauxit	3	1
11. Sand	3.907.578	29.125
Summe		<b>75.030</b>

Energieverbrauch [MJ/NE]	
Energieträger	Menge
1. Kohle	4.663.361
2. Öl	1.457.599
3. Gas	825.732
4. Wasser	20.260
5. Nuklear	813.944
6. Steinkohle	1.198
7. Sonstiges	764
8. Biomasse	1.382
Summe	<b>7.784.241</b>

Kosten [Euro/NE]	
Kosten	Betrag
Kosten	400.000
Summe	<b>400.000</b>

Emissionen		
Luft [g/NE]	Menge	Potenzial
1. CO <sub>2</sub>	1.040.181.617	GWP
2. SO <sub>x</sub>	6.629.335	<b>1.051.756.446</b>
3. NO <sub>x</sub>	2.620.543	ODP
4. CH <sub>4</sub>	551.176	0
5. NM-VOC	318.315	POCP
6. halogenierte KWs	0	<b>136.277</b>
7. NH <sub>3</sub>	0	AP
8. N <sub>2</sub> O	0	<b>8.535.060</b>
9. HCl	81.074	
Wasser [g/NE]	Menge	krit. Vol. [m <sup>3</sup> ]
1. CSB	11.119	148
2. BSB	1.090	73
3. N-Gesamt	3.166	244
4. NH <sub>4</sub> -N	9.844	984
5. P-Gesamt (g P)	0	0
6. AOX	0	0
7. SM	3.485	3.485
8. KW	2.239	1.119
9. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	258	0
10. Cl <sup>-</sup>	233	0
Summe		<b>6.055</b>
Boden [kg/NE]	Menge	gew. Menge
1. Sonderabfall	128	641
2. Deponieabfall	11.776	11.776
3. Bauschutt	0	0
4. Abraum	611.571	24.463
Summe		<b>36.880</b>

Fläche [m <sup>2</sup> /NE]		
Fläche	Menge	gew. Fläche
1. Wald	0	0
2. Grünfläche, Brache	-28.547	-42.821
3. konv. Landbau	13.605	30.612
4. versiegelt	10.435	52.828
5. Strassen, Schienen, Kanäle	4.528	34.385
Summe		<b>75.004</b>

c) In-Situ

Stoffverbrauch [kg/NE]		
Stoff	Menge	gew. Menge
1. Steinkohle	42.076	4.737
2. Öl	281.245	99.432
3. Gas	21.277	7.499
4. Braunkohle	28	5
5. NaCl	38	0
6. Schwefel	1	2
7. Phosphor	0	0
8. Eisen	279	125
9. Kalk	205.034	2.161
10. Bauxit	80	36
11. Sand	3.252.648	24.244
Summe		<b>138.241</b>

Energieverbrauch [MJ/NE]	
Energieträger	Menge
1. Kohle	1.220.209
2. Öl	12.118.114
3. Gas	1.147.667
4. Wasser	10.562
5. Nuklear	326.575
6. Steinkohle	535
7. Sonstiges	305
8. Biomasse	551
Summe	<b>14.824.518</b>

Kosten [Euro/NE]	
Kosten	Betrag
Kosten	350.000
Summe	<b>350.000</b>

Emissionen		
Luft [g/NE]	Menge	Potenzial
1. CO <sub>2</sub>	341.674.294	GWP
2. SO <sub>x</sub>	2.086.985	<b>345.203.527</b>
3. NO <sub>x</sub>	1.784.964	ODP
4. CH <sub>4</sub>	168.055	<b>0</b>
5. NM-VOC	926.569	POCP
6. halogenierte KWs	0	<b>386.629</b>
7. NH <sub>3</sub>	0	AP
8. N <sub>2</sub> O	0	<b>3.353.735</b>
9. HCl	19.631	
Wasser [g/NE]	Menge	krit. Vol. [m <sup>3</sup> ]
1. CSB	5.550	74
2. BSB	2.052	137
3. N-Gesamt	973	75
4. NH <sub>4</sub> -N	2.270	227
5. P-Gesamt (g P)	0	0
6. AOX	0	0
7. SM	1.977	1.977
8. KW	6.609	3.304
9. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	166	0
10. Cl <sup>-</sup>	2.622	3
Summe		<b>5.796,97</b>
Boden [kg/NE]	Menge	gew. Menge
1. Sonderabfall	166	829
2. Deponieabfall	3.267	3.267
3. Bauschutt	0	0
4. Abraum	397.187	15.887
Summe		<b>19.983</b>

Fläche [m <sup>2</sup> /NE]		
Fläche	Menge	gew. Fläche
1. Wald	0	0
2. Grünfläche, Brache	-21.206	-31.809
3. konv. Landbau	9.044	20.349
4. versiegelt	8.560	43.333
5. Strassen, Schienen, Kanäle	3.618	27.478
Summe		<b>59.352</b>



#### d) Deponie

Stoffverbrauch [kg/NE]		
Stoff	Menge	gew. Menge
1. Steinkohle	17.839	2.008
2. Öl	213.617	75.522
3. Gas	16.956	5.976
4. Braunkohle	26	4
5. NaCl	32	0
6. Schwefel	2	3
7. Phosphor	0	0
8. Eisen	555	249
9. Kalk	135	1
10. Bauxit	57	26
11. Sand	11.370.000	84.747
Summe		<b>168.538</b>

Energieverbrauch [MJ/NE]	
Energieträger	Menge
1. Kohle	517.336
2. Öl	9.223.201
3. Gas	913.652
4. Wasser	11.008
5. Nuklear	374.798
6. Steinkohle	490
7. Sonstiges	294
8. Biomasse	633
Summe	<b>11.041.412</b>

Kosten [Euro/NE]	
Kosten	Betrag
Kosten	450.000
Summe	<b>450.000</b>

Emissionen		
Luft [g/NE]	Menge	Potenzial
1. CO <sub>2</sub>	188.398.771	GWP
2. SO <sub>x</sub>	1.058.406	<b>192.453.549</b>
3. NO <sub>x</sub>	1.754.624	ODP
4. CH <sub>4</sub>	193.082	<b>0</b>
5. NM-VOC	815.352	POCP
6. halogenierte KWs	0	<b>340.538</b>
7. NH <sub>3</sub>	0	AP
8. N <sub>2</sub> O	0	<b>2.292.815</b>
9. HCl	7.014	
Wasser [g/NE]	Menge	krit. Vol. [m <sup>3</sup> ]
1. CSB	3.598	48
2. BSB	2.219	148
3. N-Gesamt	217	17
4. NH <sub>4</sub> -N	152	15
5. P-Gesamt (g P)	0	0
6. AOX	0	0
7. SM	860	860
8. KW	6.190	3.095
9. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	77	0
10. Cl <sup>-</sup>	1.794	<b>2</b>
Summe		<b>4.184,78</b>
Boden [kg/NE]	Menge	gew. Menge
1. Sonderabfall	206	1.029
2. Deponieabfall	1.206	1.206
3. Bauschutt	4.140.000	828.000
4. Abraum	4.773.621	190.945
Summe		<b>1.021.180</b>

Fläche [m <sup>2</sup> /NE]		
Fläche	Menge	gew. Fläche
1. Wald	0	0
2. Grünfläche, Brache	-70.809	-106.214
3. konv. Landbau	33.658	75.732
4. versiegelt	30.160	152.683
5. Strassen, Schienen, Kanäle	7.047	53.514
Summe		<b>175.714</b>

## 6.2 Relevanz- und Rechenfaktoren

Referenzwerte

Einheit für Relevanz: 1 = 1000<sup>3</sup> [Entsorgungsoption/Deutschland]

	Potentiale in Äquivalenten						Faktoren					
	Menge [TSD. t/a]	[TSD Mg/a]	ÜB Asphalt	In Situ	ÜB Beton	Deponie	Relevanz	Gesell.-	Rechen-			
							Max					
Luftemissionen	CO <sub>2</sub>	858.000	GWP (CO <sub>2</sub> )	Relevanz	80	343	1045	191	1045	35%		
	SO <sub>x</sub>	795	1.006.365						24%	50%	46%	
	NO <sub>x</sub>	1.600	ODP (FCKW)	Relevanz	0	0	0	0	0	0%		
	CH <sub>4</sub>	2.885	7						0%	20%	0%	
	KW	1.602	POCP (Ethan)	Relevanz	332	563	198	496	563	16%		
	Halogen. KW	7	687						13%	20%	21%	
	NH <sub>3</sub>	624	AP (SO <sub>2</sub> )	Relevanz	325	1070	2724	732	2724	25%		
	N <sub>2</sub> O	194	3.133						63%	10%	33%	
	HCl	51										
		Menge [TSD. t/a]	kritisches Volumen [m <sup>3</sup> /a]					Summe	4332		76%	
Wasseremissionen	CSB	2.938.800	39.184						Luftemissionen	1816	50%	34%
	BSB5	322.000	21.467							23%		48%
	N-Gesamt	805.000	61.923									
	NH <sub>4</sub> -N	268.337	26.833									
	P-Gesamt	37.000	37.000	ÜB Asphalt	In Situ	ÜB Beton	Deponie	Max				
	AOX	4.337	4.337	Relevanz	12	23	24	17	24	35%	3%	
	SM	2.085	2.085						0%		5%	
	KW	4.170	2.085									
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18.331.515	18.332									
	Cl	37.244.983	37.245									
		250.490										
Bodenemissionen	Menge [Mio. t/a]	gewichtet [Mio. t/a]										
	Sonderabfall	18	91	ÜB Asphalt	In Situ	ÜB Beton	Deponie	Max				
	Deponieabfall	33	30	Relevanz	79	119	220	6094	6094	15%	34%	
	Bauschutt	222	44								48%	
	Abraum	58	2						Summe	7934		71%
		168										
Energie									Emissionen	3962	20%	35%
	Menge [PJ/a]	Menge [PJ/a]								62%		31%
	Gesamt	14.180	14.180	ÜB Asphalt	In Situ	ÜB Beton	Deponie	Max				
			Relevanz	628	1045	549	779	1045	20%	18%		
Rohstoffverbrauch	Menge [Mio. t/a]	gewichtet [Mio. t/a]										
	Öl	130	46	ÜB Asphalt	In Situ	ÜB Beton	Deponie	Max				
	Gas	61	21	Relevanz	618	948	515	1156	1156	20	19%	
	Steinkohle	66	7								17%	
	Braunkohle	155	26						18%			
	Kalk	74	1									
	Eisen	40	18									
	Mangan	0	0									
	Kupfer	1	5									
	Bauxit	1	1									
	Schwefel	0	0									
	Steine	741	6									
	Zink	0	7									
	Salz	2	0									
	Phosphaterz	2	2									
Fruchtbarer Boden	711	6										
Trinkwasser	0	0										
		146										
Flächen-nutzung	Fläche [TSD. km <sup>2</sup> ]	gewichtet [TSD. km <sup>2</sup> ]										
	Wald	108	108	ÜB Asphalt	In Situ	ÜB Beton	Deponie	Max				
	Grünbranche, Grünland	111	167	Relevanz	53	77	97	227	227	10%	6%	
	konv. Landwirtschaft	110	247						4%		5%	
	versiegelte Fläche	32	161									
versiegelte Barriere	12	89						Summe	6391		78%	





Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
WASSERWIRTSCHAFT UND  
GEWERBEAUF SICHT

Kaiser-Friedrich-Straße 7  
55116 Mainz

[Poststelle@luwg.rlp.de](mailto:Poststelle@luwg.rlp.de)  
[www.luwg.rlp.de](http://www.luwg.rlp.de)