



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Einfluss biogener Öle auf die Ökobilanz von Strassenbaubin- demittel

**Influence of biogenic oils on the environmental impact of
bituminous binders for road construction**

**Influence des huiles biogènes sur le bilan environnemental
des liants routiers**

**University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland,
School of Life Sciences, Institute for Ecopreneurship
Anders Nättorp**

**Carbotech AG
Fredy Dinkel, Mischa Zschokke**

**Forschungsprojekt VSS 2010/402 auf Antrag der Schweizerischen Ver-
bandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Oktober 2015

1530

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS).



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Einfluss biogener Öle auf die Ökobilanz von Strassenbaubin- demittel

**Influence of biogenic oils on the environmental impact of
bituminous binders for road construction**

**Influence des huiles biogènes sur le bilan environnemental
des liants routiers**

**University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland,
School of Life Sciences, Institute for Ecopreneurship
Anders Nättorp**

**Carbotech AG
Fredy Dinkel, Mischa Zschokke**

**Forschungsprojekt VSS 2010/402 auf Antrag der Schweizerischen Ver-
bandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Oktober 2015

1530

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Anders Nättorp

Mitglieder

Fredy Dinkel

Mischa Zschokke

Federführende Fachkommission

VSS-EK 4.04: Bituminöse Bindemittel

Begleitkommission

Präsident

Marinus van den Berg

Mitglieder

Nicolas Bueche, ETH Lausanne

Paul Waldvogel, CTW, MuttENZ

Bryan Adey, ETH, Zürich

Norbert Egli, BAFU, Bern

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Ausgangslage und Auftrag	13
1.1 Auftrag.....	13
1.2 Hintergrund.....	13
2 Biogene Öle im Strassenbau in der Schweiz und in Europa.....	15
2.1 Relevante Kenngrössen Strassenbau	15
2.2 Relevante Anwendungen	15
2.2.1 Potential	15
2.2.2 Ersatz von Lösungsmittel mit biogenem Öl.....	17
2.2.3 Ersatz von mineralischen Ölen mit biogenen Ölen	18
2.3 Vorteile und Nachteile beim Einsatz von biogenem Öl	19
3 Die Methode der Ökobilanzierung	21
3.1 Zielsetzung und Untersuchungsrahmen	21
3.2 Sachbilanz.....	21
3.3 Wirkbilanz.....	22
3.4 Bewertung: Interpretation / Auswertung.....	24
3.5 Daten Unsicherheiten und Signifikanz der Resultate	26
3.5.1 Die Pedigree-Matrix zur Abschätzung der Unsicherheiten	26
3.5.2 Einschränkungen der Unsicherheitsanalyse.....	31
3.6 Darstellung der Resultate.....	31
4 Aktueller Stand LCA im Strassenbau	33
4.1 Untersuchungsrahmen der verschiedenen Studien.....	34
4.1.1 Berücksichtige Lebenszyklus-Phasen	34
4.1.2 Verwendete Funktionelle Einheit	34
4.1.3 Unterhalt.....	35
4.1.4 Entsorgung	35
4.2 Erkenntnisse aus diesen Literaturstudien	35
4.2.1 Relevante Materialien und Prozesse	35
4.2.2 Relevanz des Strassenbaus	36
5 Modellierung der Vergleichssysteme	37
5.1 Zielsetzung und Untersuchungsrahmen	37
5.1.1 Zielsetzung	37
5.1.2 Funktionelle Einheit.....	37
5.1.3 Systemgrenzen	38
5.2 Datengrundlage.....	39
5.3 Nicht berücksichtigte Punkte.....	40
6 Resultate	41
6.1 Vergleich von biogenen mit fossilen Ölen im Strassenbau.....	41
6.1.1 Umweltauswirkung der verschiedenen Bindemittelzusätze.....	41
6.1.2 Auswahl der geeigneten gesamttaggregierenden Bewertungsmethode	43
6.1.3 Vergleich Bidemittelzusätze, vollaggregiert	44
6.1.4 Bindemittel mit und ohne biogene Zusätze.....	46

6.2	Mögliche Optimierung	48
6.2.1	Ökologischer Anbau von biogenen Ölen	49
6.2.2	Altspeiseöl.....	49
6.3	Relevanz biogener Öle im gesamten Strassenbau	50
6.3.1	Komplette Strassenabschnitte	50
6.3.2	Bezogen auf die Landwirtschaftsfläche der Schweiz	51
7	Öko-Effizienz	53
7.1	Ökonomische Grundlagen	53
7.2	Definition Öko-Effizienz.....	53
7.3	Resultate Öko-Effizienz	54
8	Diskussion und Schlussfolgerung.....	57
8.1	Vergleich zu bisherigen LCA Resultaten	57
8.2	Optimierungspotenitale	57
8.3	Empfehlungen	57
8.4	Forschungsbedarf	57
	Anhänge.....	59
	Glossar.....	68
	Literaturverzeichnis.....	69
	Projektabschluss	73
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	77

Zusammenfassung

Der Ersatz von fossilen mit biogenen Rohstoffen ist ein Ansatz um der Verknappung der fossilen Ressourcen zu begegnen und die Auswirkungen auf das Klima zu reduzieren. Studien zu diesem Thema haben gezeigt, dass durch den Einsatz von biogenen Rohstoffen im Allgemeinen der Bedarf an fossilen Ressourcen und die Klimaauswirkungen gesenkt werden können, jedoch ist die Verwendung von biogenen Rohstoffen mit teilweise erheblichen Umweltauswirkungen verbunden. Das vorliegende Forschungsvorhaben hatte zum Ziel, den Einsatz von biogenen Ölen als Bindemittelzusätze im Strassenbau aus ökologischer Sicht zu prüfen.

Hierzu wurden die wichtigsten Anwendungen, in denen biogene Öle im Strassenbau zum Einsatz kommen, identifiziert. Es handelt sich dabei um Kaltmischgut für Reparaturen, Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung, Emulsion für Oberflächenbehandlung, farbloses Bitumen und Verjüngungsmittel für Recycling. Auf der Basis von Literaturrecherchen und Expertengesprächen wurde abgeklärt, welche Unterschiede bei der Verarbeitung und im Gebrauch bestehen. Diese Abklärungen haben gezeigt:

- Die Produkte mit biogenen Rohstoffen haben keine nachweisbare Verbesserungen gegenüber vergleichbaren fossilen Produkten in Gebrauchseigenschaften nach Einbau, wie z.B. die Lebensdauer.
- Beim Ersatz von fossilen Lösungsmitteln durch biogene Produkte werden die VOC Emissionen beim Einbau reduziert. Dies ist der Fall für Kaltmischgut und Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung. Die Elimination dieser VOC-Emissionen ist für die Umwelt vorteilhaft und erhöht zudem die Arbeitssicherheit und die Arbeitsplatzhygiene.

Gleichwertige Qualität des eingebauten Produkts wurde angenommen und die Ökobilanzierung fokussiert auf die Herstellung der Materialien sowie ihre Emissionen während der Konstruktion. Die Nutzungsphase und die Verwertung bzw. Entsorgung wurde nicht betrachtet, da sich die Vergleichsvarianten darin nicht unterscheiden. Weiter wurde die Zusammensetzung der Bindemittel für die verschiedenen Anwendungen berücksichtigt. Zudem wurden die Kosten ermittelt und damit die Öko-Effizienz der untersuchten Materialien berechnet.

Die Studie hat gezeigt, dass

- biogene Öle aus landwirtschaftlichem Anbau bei der Produktion mehr Umweltauswirkungen verursachen als fossile Öle und fossile Lösungsmittel.
- sich Umweltvorteile beim Einsatz von biogenen Öle dann ergeben, wenn bereits genutzte Öle, zum Beispiel Altspeiseöle, eingesetzt werden können.
- biogene Öle dann einen ökologischen Vorteil haben können, wenn damit ein Zusatznutzen wie die Elimination von VOC-Emissionen erreicht wird.
- die fossilen Bindemittel bei den meisten der untersuchten Anwendungen eine höhere Öko-Effizienz als die biogenen Bindemittel zeigen.
- bei den Bindemitteln für Kaltmischgut und Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung Produkte mit biogenen Ölen bessere Öko-Effizienz haben als diejenigen mit fossilen Lösungsmitteln auf Grund der verringerten VOC-Emissionen.

Auf Grund dieser Resultate können biogene Bindemittelzusätze nicht grundsätzlich empfohlen werden. Ihr Einsatz ist nur dann sinnvoll, wenn sie entweder aus Reststoffen, wie Altspeiseöl, hergestellt werden oder wenn sie einen Zusatznutzen in der Nutzungsphase wie z.B. Reduktion der VOC Emissionen aufweisen. Wesentlich ist, dass die biogenen Bindemittel dieselben Qualitätsanforderungen erfüllen wie die konventionellen Bindemittel, anderenfalls kann ein möglicher Vorteil verloren gehen.

Für weitere Forschungen mit dem Ziel die Umweltauswirkungen zu verringern wird empfohlen, auf die Erzielung von Zusatznutzen zu fokussieren, wie zum Beispiel verringerte Emissionen oder bessere Gebrauchseigenschaften. Diese Zusatznutzen können sowohl mit biogenen als auch mit fossilen Materialien erreicht werden. Auf Grund der Literatur-

suche wird auch empfohlen die Optimierung des Systems Strasse nicht nur auf die Materialien zu beschränken, sondern auch die Nutzung der Strasse mit einzubeziehen.

Résumé

En remplaçant des matières premières fossiles par des matières biogènes, il est possible de ralentir l'épuisement des ressources fossiles et de réduire le changement climatique. Des études ont montré que de manière générale l'utilisation des matières premières biogènes peut réduire le besoin de ressources fossiles et par conséquent réduire les effets du changement climatique, mais l'utilisation de matières premières biogènes provoque un impact environnemental important. L'objectif du projet de recherche était d'évaluer les impacts environnementaux de l'utilisation de l'huile biogène dans la construction routière.

Dans cette optique, les principales applications d'huile biogène dans la construction routière actuelle ont été identifiées. Cela concerne les enrobés à froid pour réparations, l'enduit superficiel à chaud, l'enduit superficiel à froid, les liants transparents et les agents réjuvenateurs pour la production d'enrobé à chaud avec recyclés. Sur la base d'une recherche de littérature et d'entretiens avec des experts, des différences majeures dans la phase de construction et la phase d'utilisation du cycle de vie ont été identifiées. L'analyse montre que:

- comparativement à leurs homologues composés exclusivement de composants fossiles, il n'y a pas d'indication que les produits contenant des additifs biogènes ont une meilleure qualité dans la phase d'utilisation, comme par exemple une durée de vie plus longue.
- en remplaçant des solvants fossiles par des huiles biogènes, les émissions de COV dans la phase de construction sont réduites. C'est le cas pour les applications d'enrobé à froid pour les réparations et des enduits superficiels à chaud. L'élimination de ces émissions de COV est avantageuse pour l'environnement et améliore la sécurité et la santé sur le lieu de travail.

Partant de l'hypothèse que les produits contenant des additifs biogènes ont une qualité équivalente dans la phase d'utilisation à celle des additifs fossiles, la ACV a été axée sur la production des matières premières et les émissions pendant la phase de construction. Aucune différence significative entre les options n'étant attendue pour la phase d'utilisation et la phase d'élimination, ces dernières n'ont pas été considérées. L'ACV est basée sur la composition typique des liants. En plus de la LCA, le coût et l'éco-efficacité des additifs biogènes ont été calculés. L'étude montre que:

- la production agricole des huiles biogènes a une influence plus grande sur l'environnement que la production d'huiles et de solvants fossiles.
- les additifs biogènes sont avantageux s'ils sont dérivés de matériaux usagés, par exemple des huiles de friture.
- Les produits avec additifs biogènes peuvent avoir un meilleur bilan environnemental quand ils ont des meilleures propriétés dans la phase de construction ou dans la phase d'utilisation comme c'est le cas lorsque les émissions de COV sont éliminées.
- en général, les liants à additifs biogènes sont moins éco-efficaces que leurs homologues fossiles.
- les liants aux additifs biogènes pour l'enrobé à froid pour les réparations ainsi que l'enduit superficiel à chaud sont plus éco-efficaces que leurs homologues fossiles.

En conclusion, les huiles biogènes ne sont en général pas recommandées du point de vue environnemental. Leur utilisation n'a de sens que si elles sont faites d'huile recyclée ou si un avantage supplémentaire dans la phase de construction ou dans la phase d'utilisation est atteint, tels que la réduction des émissions de COV.

Pour développer des produits respectueux de l'environnement, il est recommandé de chercher à atteindre une meilleure qualité, ce qui pourrait être la réduction des émissions ou une durée de vie accrue. Ces produits de meilleure qualité peuvent soit contenir des additifs biogènes, soit être faits de matières premières purement fossiles.

Sur la base de l'analyse de la littérature, il est recommandé d'optimiser également le système route en entier. C'est-à-dire non seulement de travailler sur ses matériaux, mais également sur son utilisation.

Summary

To replace fossil with biogenic raw materials is an approach to slow down the exhaustion of fossil resources and to reduce climate change. Studies have shown that in general the use of biogenic raw materials can reduce the need for fossil resources and the connected climate effects. However, the use of biogenic raw materials causes considerable environmental impact. The goal of the research project was to evaluate the environmental impact of the use of biogenic oil in road construction.

The main applications of biogenic oil in road construction today were identified. Those are cold asphalt cement for repairs, hot surface dressing (cutback), surface dressing emulsion, transparent binders and rejuvenating agents for production of hot mix asphalt with reclaimed asphalt pavement. Based on literature search and expert interviews the differences in the construction and the use phase of the life cycle were identified. The analysis shows that:

- There is no evidence that products with biogenic additives have better quality in the use phase, e.g. service life, than their counterparts with exclusively fossil components.
- Replacement of fossil solvents by biogenic oils or derivatives reduces the VOC emissions in the construction phase. This is the case for the applications cold asphalt cement for repairs and hot surface dressing (cutback). The elimination of those VOC emissions is not only advantageous for the environment but also improves workplace health and safety.

Since no indication to the contrary was found, it was assumed that products with biogenic additives have equivalent quality in the use phase and the LCA was focused on the production of the raw materials and the emissions during the construction phase. The use phase and the disposal phase were not considered as no difference between the options was to be expected. The LCA was based on the typical composition of the binder in the considered applications. In addition to the LCA the cost and the eco-efficiency of biogenic oil addition was calculated. The study shows that:

- agricultural production of biogenic oils cause more environmental impact than production of fossil oils and solvents.
- biogenic oil addition is advantageous when the additives are recycled, for example from deep frying oils.
- products with biogenic additives can have lower environmental impact when they have improved properties in the construction or use phase as is the case when VOC emissions are eliminated.
- in most application the biogenic oil supplemented binders are less eco-efficient than their fossil counterparts.
- biogenic oil supplemented binders for cold asphalt cement for repairs and hot surface dressing (cutback) are more eco-efficient than their fossil counterparts.

Consequently binders supplemented with biogenic oils are in general not advisable from an environmental point of view. The use of biogenic oils only makes sense if they are recycled or when an additional advantage in the construction or the use phase is achieved such as reduction of VOC emissions.

To develop more environmentally friendly products, further research should focus on the achievement of improved quality. This could be expressed for example as reduced emissions or increased service life. Such improved quality can be achieved either with biogenic or with fossil raw materials. Based on the analysis of literature it is also recommended to optimize the system "road" as a whole, not only its materials, but also its use.

1 Ausgangslage und Auftrag

1.1 Auftrag

Das Bundesamt für Strassen ASTRA beauftragte am 22. Februar 2011 das Institut für Ecopreneurship, Hochschule für Life Science, Fachhochschule Nordwestschweiz den Forschungsauftrag VSS 2010/402 „Einfluss biogener Öle auf die Ökobilanz von Strassenbaubindemitteln“ durchzuführen. Projektteilnehmer zuständig für die Ökobilanzierung ist die Firma Carbotech AG.

1.2 Hintergrund

Im Zusammenhang mit der Diskussion um die Verknappung fossiler Ressourcen und im Bestreben die Auswirkungen auf das Klima zu reduzieren wurden in den vergangenen Jahren Anstrengungen unternommen, um Produkte auf der Basis von fossilen Rohstoffen durch solche aus nachwachsenden Rohstoffen zu ersetzen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass auch diese Produkte mit teilweise erheblichen Umweltauswirkungen verbunden sind (EAPA 2012; Lommerts u. a. 2007) und (SN 640415c) sowie zu einer Konkurrenz des Nahrungsmittelanbaus führen können.

Im Rahmen dieses Projektes, sollen die Umweltauswirkungen, welche mit der Herstellung, und dem Einsatz von biogenen Ölen im Strassenbau auftreten, ermittelt und beurteilt werden. Dabei wird die Methode der Ökobilanzierung oder Lebenszyklusanalyse verwendet, da es sich dabei um die umfassendste Methode zur Beurteilung von Umweltauswirkungen handelt.

Im Auftrag des ASTRA soll der Einsatz von biogenen Ölen als Bindemittelzusätze¹ im Strassenbau aus ökologischer Sicht geprüft werden. Dabei stehen folgende Fragen im Fokus:

1. Sind biogene Bindemittelzusätze ökologisch sinnvoller als konventionelle Bindemittelzusätze auf fossiler Basis?
2. Welche sind die grössten Umweltauswirkungen?
3. Wo im Verlauf des Lebenszyklus von biogenen Ölen treten die grössten Umweltauswirkungen auf?
4. Wie sieht der Vergleich der biogenen Öle mit herkömmlichen fossilen Ölen aus?
5. Welche Relevanz haben die Umweltauswirkungen der biogenen Öle im gesamten Strassenbau?
6. Wie sieht die Ökoeffizienz der betrachteten Bindemittel mit den biogenen Zusätzen aus?
7. Welche Optimierungspotentiale können abgeleitet werden?
8. Wo besteht allenfalls noch Forschungsbedarf in diesem Bereich?

¹ Der Begriff "Bindemittelzusätze" wird im vorliegenden Text stellvertretend sowohl für biogene Öle, flüchtige Kohlenwasserstoff-Verbindungen (Lösungsmittel) als auch fossile Öle verwendet, um den Lesefluss nicht zu behindern. Rein technisch handelt es sich nicht bei allen Produkten und Anwendungen um Zusätze im engeren Sinn.

2 Biogene Öle im Strassenbau in der Schweiz und in Europa

2.1 Relevante Kenngrössen Strassenbau

Das Schweizer Strassennetz besteht aus Nationalstrassen, Kantonsstrassen und Gemeindestrassen. Neben einem begrenzten Ausbau, werden bestehende Strassen laufend unterhalten und ersetzt. Mehrheitlich werden Schichten oder die ganze Asphaltdecke mit neuem Asphaltmischgut ersetzt. Insgesamt wird 227'000 Tonnen Bindemittel pro Jahr eingesetzt (EAPA 2012).

Nur ein kleiner Teil enthält biogene Öle. Biogene Öle werden nicht in den Standardrezepturen für Asphaltmischgut verwendet, sondern kommen nur in gewissen Spezialprodukten vor, wie im Kapitel 2.2.1 beschrieben.

2.2 Relevante Anwendungen

2.2.1 Potential

Vier europäische Länder, die für den Einsatz von Produkten mit biogenen Öle bekannt sind, wurden ausgewählt: die Schweiz, Österreich, Frankreich und die Niederlande. Durch Interviews mit Vertretern von Strassenbauunternehmen und Baustofflieferanten in den gewählten Ländern sowie Erdölkonzernen (siehe Anhang I.1) konnten fünf Anwendungen, in denen biogene Öle zum Einsatz kommen, identifiziert werden (Tabelle 1). Der Anteil biogene Produkte in diesen fünf Anwendungen und den vier Ländern variiert aktuell zwischen 0% und zirka 30%. In anderen denkbaren Anwendungen wie Kaltmikrobelag, Schaumbitumen oder Emulsion für Kaltasphalt werden laut den Interviewpartnern kaum oder gar keine biogene Öle verwendet.

Tab. 1 Identifizierte Anwendungen mit biogenen Ölen in Ländern bekannt für den Einsatz von Produkten mit biogenen Ölen. x = relevanter Anteil, - = kein relevanter Anteil, ? = unbekannter Anteil

	Schweiz	Österreich	Frankreich	Niederlande
Kaltmischgut für Reparaturen	-	x	x	x
Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung	x	x	x	x
Emulsion für Oberflächenbehandlung	-	x	-	?
Farbloses Bitumen	-	?	x	?
Verjüngungsmittel für Recycling	x	?	?	?

Anschliessend wurde der Anteil am Gesamtmarkt für diese Anwendungen in den verschiedenen Ländern ermittelt (Tabelle 2). Für jede Anwendung wurde der höchste Wert in den fünf Ländern genommen (letzte Kolumne Tabelle 2). Der maximale Anteil von biogenen Bindemitteln [u ; in Gleichung (1)] bezogen auf die eingesetzte Gesamtbindemittelmenge in Europa wurde aus den folgenden Grössen bestimmt:

x : höchster Anteil der Anwendung in den betrachteten Ländern

y : Benötigter Anteile Öl oder Lösungsmittel in der Anwendung und

z : Ersatz dieses Öls bzw. Lösungsmittels mit biogenen Zusätze in der gesamten Bindemittelmenge der Anwendung (zur Zeit 0%-30%, wie oben erwähnt)

$$u = x \cdot y \cdot z$$

Gleichung (1)

Die Anteile für die Anwendungen wurden zu 0.8% aufsummiert (Tabelle 3). Folglich, wenn diesen fünf Anwendungen in allen Europäischen Ländern höchste Anteile (x) erreichen würden und die benötigten Öle und Lösungsmittel voll durch biogene Öle ersetzt würden ($z=100\%$), so entsprächen dies 0.8 % vom Gesamtbitumenmarkt für Strassen (14.6 Million Tonnen (EAPA 2012) knapp 120'000 Tonnen biogenen Ölen. Die Anwendung in der am meisten biogenes Öl eingesetzt werden könnte, ist Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlungen (0.4% vom Gesamtbindemittelvolumen).

Tab. 2 Anteil der untersuchten Anwendungen am Gesamtbindemittelmarkt in vier Länder für die fünf identifizierten Anwendungen in denen biogene Öle zum Einsatz kommen.

	Anteil der Gesamtbindemittelmenge der für die Anwendung eingesetzt wird				
	Österreich	Frankreich	Schweiz	Niederlande	Höchstwert
Kaltmischgut für Reparaturen (%)		0.3			0.3
Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung (%)	0.6	4.2	0.7		4.2
Emulsion für Oberflächenbehandlung (%)	2.4	10.2	1.7		10.2
Farbloses Bitumen (%)		0.2			0.2
Verjüngungsmittel für Recycling (%)			0.1		0.1
Total (t/Jahr)	482'000	3'107'000	227'000	463'000	

Tab. 3 Höchstwert Bindemittelmenge und Berechnung Höchstwert biogene Öle für die fünf identifizierten Anwendungen wo biogene Öle zum Einsatz kommen. Die Werte in der Tabelle sind gerundet, weshalb die Summen nicht immer stimmen.

	Höchstwert der Anwendung als Anteil der Gesamt-Bindemittelmenge (%)	Öl oder Lösungsmittel als Anteil des Bindemittels in der Anwendung (%)	Höchstwert der biogenen Bindemittelzusatz als Anteil der Gesamtbindemittel-Menge (%)
	x	y	u
Kaltmischgut für Reparaturen	0.3	20	0.1
Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung	4.2	10	0.4
Emulsion für Oberflächenbehandlung	10.2	1	0.1
Farbloses Bitumen	0.2	90	0.2
Verjüngungsmittel für Recycling	0.1	100	0.1
Total	14.9		0.8

Dies sind also die fünf wesentlichen Anwendungen, in denen Produkte mit biogenen Ölen zum Einsatz kommen könnten. In den folgenden Abschnitten werden diese Anwendungen beschrieben und Erfahrungen aus der Literatur zusammengefasst. Biogene Öle können in diesen Anwendungen einerseits Lösungsmittel andererseits mineralisches Öl ersetzen. Lösungsmittel und Öle werden beide eingesetzt um die Viskosität des Bindemittels zu reduzieren. Lösungsmittel verdampfen und hinterlassen ein Bindemittel mit der ursprünglichen Viskosität während Öle nicht flüchtig sind und somit eine permanente Wirkung haben.

2.2.2 Ersatz von Lösungsmittel mit biogenem Öl

Kaltemischgut für Reparaturen

Kaltemischgut für Reparaturen ist ein Mischgut, das kalt verarbeitbar ist. Es ist ein nicht normiertes Produkt, das in kleinen Gebinden für Anrampungen, Reparatur von Schlaglöchern und ähnliche Anwendungen verwendet wird. Um kalte Verarbeitung zu ermöglichen wird das Bindemittel im Kaltemischgut meistens durch Lösungsmittel geflucht, aber auch Kaltemischgut mit Emulsion kommt vor.

Oberflächenbehandlung

Oberflächenbehandlungen werden bei Neubauten, bei Unterhalts- und bei Erhaltungsmaßnahmen ausgeführt. Sie bilden dünne, bituminöse Schichten, die keine tragenden Funktionen ausüben (SN 640415c). Oberflächenbehandlungen schützen die Unterlage gegen das Eindringen von Oberflächenwasser und verhindern deren Verschleiss durch den Verkehr oder Erosion. Oberflächenbehandlungen dienen auch zur Erhöhung der Griffigkeit von Verkehrsflächen. Die verwandten Tränkungen werden bei Neubauten sowie zum Erhöhen der Tragfähigkeit von Naturstrassen und nicht gebunden Kiessandschichten angewendet.

Oberflächenbehandlungen entstehen durch Spritzen von Bindemittel auf die Unterlage und Streuen sowie Walzen von Splitt. Damit das Bindemittel gut auf dem Splitt klebt wird es emulgiert oder geflucht. Die gefluxten Spritzbindemittel werden heiss verspritzt, um eine genügend dünne und gleichmässige Schicht zu erzeugen und die Verbindung zwischen Splitt und Bindemittel zusätzlich zu verbessern. Nach dem Abkühlen ist eine heisse Oberflächenbehandlung normalerweise befahrbar. Ihre Widerstandsfähigkeit nimmt während den nächsten Stunden bis Wochen durch die Verdampfung des Lösungsmittels und die Knetwirkung der Autoräder weiter zu.

Literatur zu Ersatz von Lösungsmittel mit biogenem Öl

Das Schweizer Unternehmen Grisard hat den Einsatz von biogenen Ölen für gefluxte Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung 1993 patentiert (Grisard AG 1993). Das französische Unternehmen Gerland routes/Appia patentierte 1999 die Anwendung von Ester von biogenen Ölen für gefluxte und emulgierte Bindemittel für Oberflächenbehandlung und Mischgut (Appia 1999). In 2007 patentierte das niederländische Unternehmen Latexphalt die Anwendung von Ester von biogenen Ölen, primär für gefluxte Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung. Neuartig war den Zusatz von Alkylamiden, um das bei diesen Oberflächenbehandlungen bekannte Problem der Überfettung im Sommer zu begrenzen (Lommerts u. a. 2007).

In einem Artikel aus einer Branchenzeitschrift beschreibt die Vialit aus Österreich die Verwendung von Rapsöl für Spritzbindemittel in Österreich (Bleier 2009). Der Umweltvorteil durch Ersatz von fossilen durch nachwachsende Rohstoffe wird betont. Eine Labormessung mit einem nicht näher beschriebenen Messverfahren zeigt laut dem Artikel auf, dass Spritzbindemittel mit Rapsöl etwa halb so schnell altern wie konventionelle Spritzbindemittel.

Antoine und Marcilloux von Gerland routes/Appia (heute Eiffage) beschreiben wie sie Heiss-spritzbindemittel mit Ester von biogene Öle entwickelt haben (Antoine und Marcilloux 2005; Antoine und Marcilloux 1999; Marcilloux u. a. 2003). Das Ziel war eine Zunahme der Viskosität nach der Ausführung, die mit konventionell gefluxten Bindemitteln vergleichbar sei. Methylester von Sonnenblumenöl wurde als am geeignetsten erachtet auf Grund der Zunahme der Viskosität und auf Grund des Preises. Laut dem Artikel hat die Verwendung von Bio-Ölester Umweltvorteile indem fossile Rohstoffe ersetzt, VOC-Emissionen vermieden und auf Haftmittel verzichtet werden kann. Zudem sind die Arbeiter keinen gesundheitsgefährdenden Dämpfen beim Verspritzen ausgesetzt und die Explosionsgefahr bei der Fabrikation und dem Transport fällt weg. Die Qualität wird als gleichwertig eingeschätzt. Im persönlichen Gespräch mit einem Vertreter einer französischen Strassenbaufirma, ergab sich dass die Zunahme der Viskosität langsamer (was auch in den Publikationen ersichtlich ist) und die Qualität somit nicht ganz gleichwertig ist. Jedoch macht die Vermeidung von Dämpfen am Arbeitsplatz das Verfahren attraktiv.

2.2.3 Ersatz von mineralischen Ölen mit biogenen Ölen

Farblose Bindemittel

Farblose Bindemittel werden für farbiges Mischgut oder auch Oberflächenbehandlungen verwendet wo die schwarze Farbe von Bitumen störend ist. Die Bindemittel werden durch Mischung und allenfalls chemische Reaktionen hergestellt, oft aus schwerflüchtigen Ölen und retikulierten grossmolekularen Verbindungen. Meist werden bitumenähnliche Verarbeitungs- und Gebrauchs-Eigenschaften angestrebt und weitgehend erreicht. Farblose Bindemittel können mit biogenen Ölen und Derivaten daraus wie Glycerol und Ester hergestellt werden (Delfosse u. a. 2012a) und können somit praktisch zu 100% biologischen Ursprungs sein.

Emulsion für Oberflächenbehandlungen (OB)

Bei der Herstellung von Emulsionen für Oberflächenbehandlungen werden manchmal biogene Öle als Flux zur Einstellung der Bindemittelviskosität eingesetzt. Diese Anwendung hat laut Hersteller nicht primär verbesserte Eigenschaften als Ziel; es kann auch ein weicherer Bitumen oder ein mineralisches Fluxöl eingesetzt werden. Biogene Öle werden vielmehr eingesetzt, um fossile Rohstoffe zu ersetzen, was Imagevorteile hat.

Verjüngungsmittel

Bei der Verwendung von Recyclingasphalt werden manchmal so genannte Verjüngungsmittel eingesetzt. Das Ziel ist es, die Eigenschaften von alten Bindemitteln zu modifizieren, so dass diese gleichwertig zu frischen Bindemitteln werden. So kann beispielsweise das Recycling-Bindemittel während der Liegezeit durch Oxidation verhärten und muss wieder weicher gemacht werden. Dafür werden unter anderem Öle fossilen und biologischen Ursprungs eingesetzt (Grisard Bitumen AG). Umfassende Laborversuche zur Verjüngung von Recycling-Material mit verschiedenen biogenen Ölen wurde von Bailey et al. durchgeführt (Bailey und S. E. Zoroob 2012a; Bailey und S. E. Zoroob 2012b).

Literatur zu Ersatz von mineralischen Ölen mit biogenem Öl

- Delcroix (2008) berichtet über stabilere farblose Emulsionen und bessere Kohäsion beim Einsatz von biogenen Ölen.
- Mit biogenen Ölen versetzter Bitumen wurde auch für Walzasphalt erfolgreich eingesetzt wo die Transportzeit für Heissasphalt zu lang ist, zum Beispiel auf Inseln (Delfosse u. a. 2012b).
- Mit biogenen Ölen versetzter Bitumen wurde auch in Feldversuche anstelle von Walzasphalt erfolgreich eingesetzt und als qualitativ gleichwertig gefunden (Andersen u. a. 2008).
- In einem vor kurzem in den USA erschienenen Tagungsband zu alternativen Bindemitteln für Strassenbau wurde von einigen Laborversuchen mit erneuerbaren Materialien, aber von keinen grossflächigen Anwendungen berichtet. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Europäischen Anwendungen umfassender und die Erkenntnisse belastbarer sind (Horvath und Hendrickson 1998).

2.3 Vorteile und Nachteile beim Einsatz von biogenem Öl

Die Umweltauswirkungen von biogenen Ölen in Strassenbau sollen bewertet werden. Zu diesem Zweck werden die Umweltauswirkungen von Produkten mit biogenen Ölen und ohne biogene Öle, welche die gleiche Funktion erfüllen, miteinander verglichen. Um gleiche Funktion sicherzustellen zu können, ist es wichtig, eventuelle andere Einflüsse neben den Umwelteinflüssen zu berücksichtigen.

In den Anwendungen farblose Bindemittel, Emulsion für Oberflächenbehandlung und Verjüngungsmittel werden im Grunde fossile Öle mit biogenen Ölen ersetzt. In Berichten über diese Anwendungen werden Umweltvorteile betont und Hersteller geben im Gespräch zur Protokoll, dass der Grund für den Einsatz von biogenen Ölen unter anderem Imagevorteile ist. Für diese Anwendungen wird in keinem Fall von besseren Eigenschaften berichtet. Oft sind gleichwertige Eigenschaften das implizite Ziel (Delfosse u. a. 2012b; Tanghe u. a. 2012).

In den Anwendungen Heisssspritzbindemittel und Kaltmischgut für Reparaturen werden Lösungsmittel durch biogene Öle ersetzt. Heisssspritzbindemittel mit biogenen Ölen entwickeln weniger Dämpfe beim Einbau und haben demzufolge Vorteile bezüglich der Arbeitshygiene. Zudem entstehen keine Lösungsmitteldämpfe während der Produktion und Lagerung, wes-halb beim Einsatz von Heisssspritzbindemitteln mit biogenen Ölen keine Explosionsgefahr besteht. Kaltmischgut mit biogenen Ölen hat ebenso den Vorteil, das Explosionsrisiko zu vermeiden. Das Problem der Exposition der Anwender für Lösungsmitteldämpfe wird eben-falls vermieden, ist aber für dieses Produkt wenig ausgeprägt.

In den Anwendungen Heisssspritzbindemittel und Kaltmischgut für Reparaturen ist die Aushärtung des Produkts anscheinend etwas langsamer, was einen kleinen Nachteil darstellt.

Die diversen Angaben aus Literatur und Interviews zu verschiedenen Einflüsse wurden zusammengetragen und ausgewertet. In der folgenden Ökobilanzierung wird davon ausgegangen, dass Produkte mit biogenen Ölen im Vergleich zu konventionellen Produkten:

- die gleiche Qualität (zum Beispiel Lebensdauer) haben.
- im Fall von Heisssspritzbindemittel und Kaltmischgut für Reparaturen ein eliminiertes Explosionsrisiko haben.
- geringe (Kaltmischgut) bis erhebliche (Heisssspritzbindemittel) Exposition von Lösungsmitteldämpfen am Arbeitsplatz vermeiden.

Die Umweltvorteile ergeben sich für alle Produkte aus Ersatz von fossilen Rohstoffen mit nachwachsende. Zudem haben Heisssspritzbindemittel und Kaltmischgut mit biogenen Ölen im Gegensatz zu den konventionellen Produkten keine VOC- Emissionen.

3 Die Methode der Ökobilanzierung

Mit der Ökobilanz werden die Auswirkungen der relevanten Stoff- und Energieströme auf die Umwelt über den gesamten Lebensweg eines Produktes, einer Dienstleistung oder die gesamthaften Auswirkungen eines Prozesses erfasst. Eine ökologische Bewertung umfasst nach der ISO-Norm 14'040 bzw. 14'044 (ISO 2005; ISO 1997) die folgenden Schritte:

- Festlegung der Ziele und Systemgrenzen
- Sachbilanz
- Wirkungsbilanz
- Interpretation und Bewertung der Ergebnisse

3.1 Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Um die verschiedenen Varianten zu beurteilen, ist es notwendig eine Vergleichsbasis zu definieren, welche denselben Nutzen ergibt und damit dieselbe Funktion erfüllt. Dies wird in der Ökobilanzierung mit dem Begriff funktionelle Einheit bezeichnet.

In die Berechnung eingeschlossen sind alle als relevant betrachteten Stoff- und Energieflüsse der verschiedenen biogenen Öle. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die Folgen-den:

- Benötigte Ressourcen für den Anbau der Pflanzen, aus denen das Öl gewonnen wird
- Gewinnung des Öles sowie Veredlung zum Beispiel durch Veresterung
- Gewinnung der fossilen Rohstoffe und die damit verbundenen Umweltauswirkungen
- Aufbereitung des Rohöls durch Raffination und ggf. weiterer Veredlungsschritte
- benötigte Transporte,
- verwendete Hilfsstoffe,
- Infrastruktur,
- Umweltauswirkungen beim Einbau und bei der Entsorgung, bzw. Wiederverwertung

Alle der untersuchten Produkte wurden von der Wiege bis zur Bahre analysiert. Im Fall der biogenen Zusätzen beinhaltet dies jeweils die Ressourcengewinnung und Herstellung für die in der Landwirtschaft benötigten Stoffe und Maschinen über die Ernte, den Pressvorgang und die weitere Aufbereitung und Transporte bis hin zum Einsatz im Strassenbau.

3.2 Sachbilanz

In der Sachbilanz werden für alle Varianten die benötigten Materialien, Energien, Dienstleistungen (wie Transporte) und Emissionen zusammengetragen und daraus die Emissionen und der Ressourcenbedarf über den gesamten Lebensweg berechnet. Diese Berechnungen erfolgten mit der Ökobilanz-Software EMIS in der Version 5.7.

Als Datengrundlage für vorgelagerte Prozesse wurde auf Daten aus ecoinvent 2.2 (Frisch-knecht u. a. 2007; Frischknecht u. a. 2005; Weidema und Hirschier 2009) zurückgegriffen. Dabei handelt es sich um Daten, welche einen hohen Qualitätsstandard aufweisen und auch international anerkannt sind.

3.3 Wirkbilanz

In diesem Schritt werden die Auswirkungen auf die Umwelt berechnet, welche sich aus der Sachbilanz ergeben. Dies erfolgt in den folgenden zwei Schritten:

- Klassifizierung und
- Charakterisierung

Bei der Klassifizierung werden die Stoffe im Hinblick auf unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt gruppiert, zum Beispiel in die Klasse der klimaschädlichen, toxischen oder eutrophierenden Stoffe, siehe auch Abbildung 1.

Da nicht alle Substanzen einer Klasse dieselbe Wirkung verursachen, müssen die verschiedenen Stoffe bezüglich ihrer Wirksamkeit charakterisiert werden. So haben zum Beispiel sowohl Ethanol wie auch Dioxin eine schädliche Wirkung auf die menschliche Gesundheit, jedoch in deutlich unterschiedlichen Konzentrationsbereichen. Für Ethanol ergibt sich eine Schädigung erst im Grammbereich während Dioxine bereits im Nanogramm-Bereich Schäden verursachen können.

Dies wird bei der Berechnung der Umweltauswirkung durch die Einführung eines Charakterisierungsfaktors berücksichtigt. So ergibt sich das Schädigungs- oder Wirkpotential (WP) einer jeden Wirkkategorie als Summe über die emittierten Mengen der Substanzen, die zuvor mit den jeweiligen Charakterisierungsfaktoren multipliziert wurden. [vgl. Gleichung (2)].

$$WP_{Wirkkategorie\ j} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot CF_{ji}$$

Gleichung (2)

Dabei ist:

m_i : die Emissionsmenge des Stoffes i ; und

CF_{ji} : der Charakterisierungsfaktor des Stoffes i in Bezug auf die Wirkkategorie j .

Für einige Auswirkungen wie zum Beispiel bei der Klimawirksamkeit (Treibhauspotential) erfolgt die Charakterisierung relativ zu einer Leitsubstanz. Im Falle des Klimas ist die Leitsubstanz CO_2 . Aus diesem Grunde wird das Treibhauspotential in Form von CO_2 Äquivalenten angegeben.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Klassifizierung und die Charakterisierungsfaktoren für ausgewählte Stoffe, nach (Guinée u. a. 2002).

Emissionen	Klassifizierung Zuordnung zu den Wirkkategorien	Charakterisierung Bestimmung des Potentials	Wirkpotential Einheit
Beispiel			CF
NO _x	→ Säurebildung	SO ₂	1 kg SO ₂ Äquiv.
	→ Ozonbildung	NO _x	0.7
SO ₂	→ Ozonbildung	Ethylen	1 kg C ₂ H ₄ Äquiv
	→ Eutrophierung	NO _x	0.832
Ethylen	→ Eutrophierung	Phosphat	1 kg PO ₄ Äquiv
Phosphat	→ Eutrophierung	NO _x	0.13
CO ₂	→ Treibhaus	CO ₂	1 kg CO ₂ Äquiv
Methan	→ Treibhaus	Methan	23

Abb. 1 Beispielhafte Darstellung der Klassifizierung und Charakterisierung, nach (Guinée u. a. 2002)

Tab. 4 Zusammenfassung der Auswirkungen, welche für dieses Projekt als relevant angesehen werden.

Tabelle 3: Auswahl von Umweltauswirkungen, welche für dieses Projekt relevant sind. Auswirkung	Quelle
Treibhauspotential (GWP) Einfluss auf das Klima infolge der Emission von klimawirksamen Stoffen wie Kohlendioxid (CO ₂), Lachgas (N ₂ O) oder Methan (CH ₄). Diese Auswirkung wird gemäss IPCC aus dem Jahre 2007 berechnet und in diesem Bericht ausgewiesen	(Guinée u. a. 2002)
Kumulierter Energieaufwand (KEA) graue Energie oder Verbrauch an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen wie zum Beispiel Erdöl oder Erdgas.	(VDI-Richtlinie 1997)
Säurebildungspotential Beitrag zur Versauerung von Böden und Gewässern zum Beispiel durch Stickoxide und Schwefeldioxid. Die Berechnung erfolgt auf der Basis der Methode CML.	(Guinée u. a. 2002)
Überdüngung oder Eutrophierung Veränderung des Nährstoffgleichgewichtes in Boden und Wasser durch den Eintrag von Verbindungen, die Stickstoff und Phosphor enthalten. Die Berechnung erfolgt auf der Basis der Methode CML.	(Guinée u. a. 2002)
Ozonbildungspotential Beitrag zur Bildung von Ozon (Sommersmog) infolge der Emission von Stoffen wie zum Beispiel Kohlenwasserstoffe und Stickoxide (NO _x). Die Berechnung erfolgt auf der Basis der Methode CML.	(Guinée u. a. 2002)
Menschliche Gesundheit Auswirkungen von Emissionen auf die menschliche Gesundheit bewertet nach der Methode CML.	(Guinée u. a. 2002)
Landnutzung Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen durch die Nutzung von Boden für Land- und Forstwirtschaft sowie Infrastrukturbauten. Methode CML.	(Guinée u. a. 2002)

Diese Auswirkungen wurden für alle untersuchten Varianten der Bindemittelzusätze berechnet und in Kapitel 6.1.1 dargestellt und diskutiert. Zudem werden diese Ergebnisse

verwendet, um zu bestimmen, welche gesamtaggregierende Bewertungsmethode für diese Untersuchung geeignet ist. Die gesamtaggregierenden Methoden, siehe auch Kapitel 3.4, werden anschliessend für die Entscheidungsfindung herangezogen, da die Vielzahl der Auswirkungen nur sehr beschränkt für die Entscheidungsfindung geeignet ist oder sogar zu subjektiven Entscheiden verleiten kann. Die Resultate der Wirkbilanz bilden jedoch zusammen mit der Bewertungsmethode (siehe Kapitel 3.4) die Basis für die Beurteilung der Resultate und Erarbeitung der Empfehlungen.

3.4 Bewertung: Interpretation / Auswertung

Beim Resultat der Wirkbilanz handelt es sich um eine Zusammenstellung von verschiedenen Indikatoren, welche jeweils einen Aspekt der gesamten Umweltauswirkungen beschreiben (Abbildung 2). Erst die Berücksichtigung sämtlicher Auswirkungen gibt ein umfassendes Bild der Umweltauswirkungen eines betrachteten Prozesses. 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 ist bei den untersuchten Produkten oder Systemen entscheidend. Problematisch bei der Beantwortung dieser Frage ist unter anderem, dass die Ergebnisse der verschiedenen Wirkkategorien nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Zum einen sind die Einheiten und damit Dimensionen unterschiedlich, zum anderen wird anhand des Wirkpotentials noch keine Aussage getroffen, wie problematisch die betrachtete Wirkung relativ zu den anderen Wirkungen ist. Um diese verschiedenen Auswirkungen zu einer Kennzahl zusammenzufassen oder zumindest die Relevanz der verschiedenen Auswirkungen zu erkennen, wird in zwei Schritten vorgegangen:

- Normierung der verschiedenen Auswirkungen, um vergleichbare Grössenordnungen zu erhalten
- Gewichtung der normierten Auswirkungen relativ zu einander oder relativ zu Zielvorgaben

Normierung

Bei der Normierung werden die verschiedenen Wirkungen mit entsprechenden Grössen (Normierungsgrösse) normiert. Als Normierungsgrösse werden oft die Auswirkungen der durchschnittlichen Bevölkerung im Untersuchungsgebiet verwendet. Das heisst, es werden die verschiedenen Umweltauswirkungen für ein Land, Europa oder die ganze Welt in einem Jahr berechnet. Dabei werden u.a. Daten über Energiebedarf, benötigte Mengen an Lebensmittel, Konsumgüter und Chemikalien sowie Bautätigkeiten und Transporte etc. verwendet. Die durchschnittliche Auswirkung pro Einwohner ergibt sich aus diesen berechneten Umweltauswirkungen durch Division durch die Bevölkerungszahl im betrachteten Gebiet. Mit der Normierung wird erreicht, dass die verschiedenen Wirkungen dieselbe Einheit (Anteil an der Normierungsgrösse) und vergleichbare Grössenordnungen erhalten. Die Einheit wird als person equivalent (PE, Personen Äquivalent) bezeichnet. Die normierten Umweltauswirkungen sagen somit aus, welche Anteile die untersuchte Technologie, Dienstleistung oder das untersuchte Produkt an den Umweltauswirkungen einer durchschnittlichen Person ausmacht.

Dabei wird bestimmt, welchen Anteil das untersuchte Produkt, in unserem Falle 1 kg Bindemittelzusatz, an den gesamten Auswirkungen von Europa in einem Jahr hat. Bei der Methode CML werden Normierungsfaktoren für verschiedene Regionen angegeben. In diesem Bericht wurden diejenigen für Europa verwendet.

Gewichtung

Um die verschiedenen Resultate der Indikatoren zu interpretieren und damit eine fundierte Entscheidungsbasis zu erhalten, müssen die verschiedenen Auswirkungen gewichtet und zu einer Kennzahl zusammengefasst werden. Diese Gewichtung kann nicht mehr auf der Basis von wissenschaftlichen Modellen erfolgen, da es keine wissenschaftliche Grundlage gibt, welche es zum Beispiel erlaubt die menschliche Gesundheit mit dem Einfluss auf das Klima zu verrechnen. Diese Gewichtung erfolgt auf der Basis von gesellschaftlichen Wertesystemen. Dazu gibt es verschiedene Methoden. Im Rahmen dieser Studie wurden die folgenden drei Methoden bezüglich ihrer Eignung zur Beurteilung von biogenen Ölen geprüft und gegebenenfalls verwendet:

- die Methode der ökologischen Knappheit,
- die Methode Eco-Indicator 99 sowie
- die Methode ReCiPe.

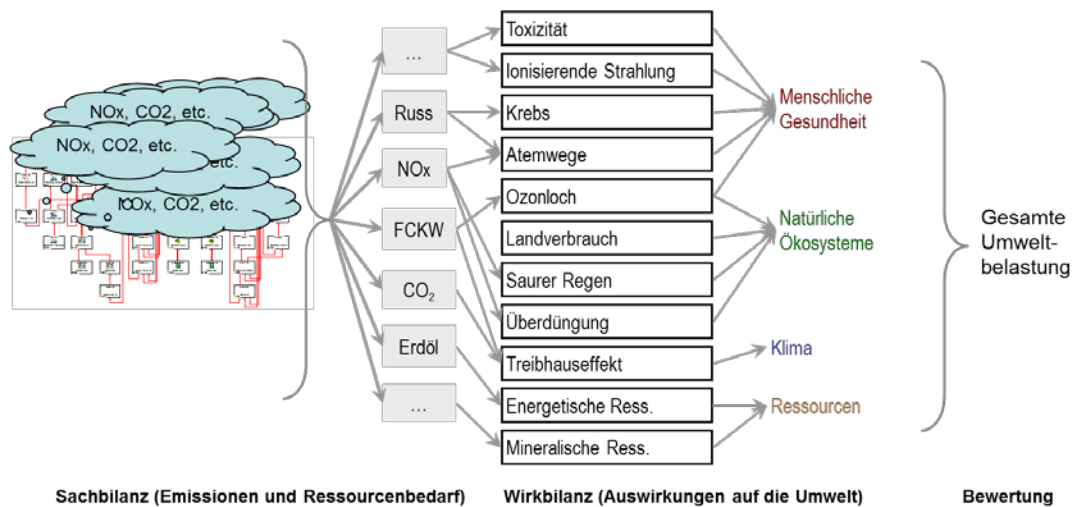


Abb. 2 Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung

Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht u. a. 2008)

Die Bewertung mittels der Methode der ökologischen Knappheit wurde unter Mitarbeit des Bundesamts für Umwelt entwickelt und ist eine in der Schweiz etablierte Methode. Diese Methode wurde gewählt, da sie für die Bewertung sowohl die Umweltsituation wie auch die Umweltziele der Schweiz berücksichtigt. Obwohl diese Methode die schweizerische Umweltpolitik widerspiegelt, hat sie auch international eine hohe Akzeptanz. Die Resultate werden in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt. Diese Methode wird u.a. auch in der schweizerischen Gesetzgebung verwendet, z.B. bei der Evaluation der ökologischen Auswirkungen von biogenen Treibstoffen (UVEK 2014).

Eco-Indicator 99 (Goedkoop u. a. 2000)

Diese Methode wurde in Holland entwickelt. Sie berücksichtigt die Europäische Umweltsituation sowie deren Ziele. Beim Eco-Indicator 99 werden die Schäden, welche an den drei Schutzziele Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen entstehen, berechnet. Anschliessend werden diese verschiedenen Schäden auf der Basis von gesellschaftlichen Wertmassstäben relativ zueinander gewichtet. Dabei werden drei verschiedene mögliche Gewichtungen gegeben.

In der vorliegenden Studie wurde die Perspektive "Hierarchist" zur Gewichtung ausgewählt, da es sich hierbei um die ausgewogenste der Perspektiven handelt und diese zudem von den Autoren der Methode als Hauptgewichtung empfohlen wird. Bezüglich der Details und der Hintergründe dieser Methoden wird auf die Originalliteratur verwiesen.

ReCiPe (Goedkoop u. a. 2009)

Die Methode ReCiPe Endpoint wurde als Nachfolgemethode des Eco-Indicator entwickelt und beruht ebenfalls auf einem Indikator mit Bewertungspunkten für Schäden, welche an den drei Schutzziele Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen entstehen. Die Schäden werden dabei auf der Basis von gesellschaftlichen Wertmassstäben relativ zueinander gewichtet. Da die Methode teilweise andere Berechnungsgrundlagen verwendet und andere Gewichtungsschwerpunkte setzt, ist sie nicht eins zu eins mit dem Eco-Indicator vergleichbar. In der vorliegenden Studie wurde wie bei Eco-Indicator die Perspektive "Hierarchist" zur Gewichtung ausgewählt. Bezüglich der Details und der Hintergründe dieser Methoden wird auf die Originalliteratur verwiesen.

3.5 Daten Unsicherheiten und Signifikanz der Resultate

Bei der Modellierung von komplexen Systemen, wie dies bei der Ökobilanzierung der Fall ist, treten Unsicherheiten auf verschiedenen Ebenen auf. Innerhalb der Ökobilanzinventare werden im Wesentlichen die folgenden Typen von Unsicherheiten unterschieden:

1. Variabilität und stochastische Fehler der Werte, welche die Eingangs- und Ausgangsgrößen beschreiben: diese Fehler treten aufgrund von Messunsicherheiten, prozessspezifischen Variationen, zeitlichen Änderungen etc. auf.
2. Die Eignung der Eingangs- und Ausgangsgrößen: Es kann sein, dass die verwendeten Werte nicht vollständig zu den in der Realität beobachteten Größen passen, weshalb eine möglichst gute Annäherung verwendet werden muss.
3. Modelunsicherheit: das Modell, um einen Prozess zu beschreiben, ist nicht geeignet; beispielsweise wird ein lineares Modell anstelle eines nicht-linearen angewandt.
4. Vernachlässigung wichtiger Flüsse: Manchmal sind nicht alle relevante Informationen, um einen Prozess zu beschreiben, vorhanden; die unbekannten Werte fehlen dann entsprechend im Inventar.

Bei Typ 2 bis 4 handelt es sich um systematische Fehler, diese können durch Diskussionen und Optimierungen reduziert werden. Deren Einfluss kann zumindest teilweise mit Sensitivitätsanalysen beschrieben werden. Jedoch können diese Unsicherheiten nicht mit statistischen Wahrscheinlichkeiten beschrieben werden, dies ist nur beim ersten Typ von Unsicherheiten der Fall. Im Allgemeinen liegen jedoch nicht genügend Messdaten vor, dass die Unsicherheiten in einem statistischen Sinn abgeleitet werden können. Aus diesem Grunde werden die Unsicherheiten meistens nur abgeschätzt. Um diese Abschätzung nachvollziehbar und möglichst einheitlich zu gestalten wurden auf der Basis von Erfahrungen Verfahren zur Bestimmung der Unsicherheiten entwickelt und im nächsten Kapitel beschrieben. Als Verteilungsfunktion wird in ecoinvent dabei für beinahe alle Prozesse die Lognormal-Verteilung verwendet.

3.5.1 Die Pedigree-Matrix zur Abschätzung der Unsicherheiten

Oft sind nur Daten zu Mittelwerten verfügbar, ohne dass Angaben zur Unsicherheit gemacht werden. Mit dem Ziel die Unsicherheiten standardisiert und nachvollziehbar zu bestimmen, wurde ein Standard-Verfahren entwickelt, um die Unsicherheiten abzuschätzen. Dieses ist in Ökobilanzen sehr verbreitete und wird auch in der ecoinvent-Datenbank verwendet, um Unsicherheiten nachvollziehbar anzugeben, falls keine besseren Angaben zur Unsicherheitsverteilung vorliegen (Frischknecht u. a. 2007).

Der vereinfachte Ansatz beinhaltet die qualitative Erhebung von sogenannten Qualitätsindikatoren der Daten, basierend auf einer Pedigree-Matrix (Aufbauend auf der Arbeit von Weidema und Wesnæs 1996).

Die Datenquellen werden mit Hilfe der Matrix anhand der folgenden sechs Kriterien bewertet:

- Zuverlässigkeit (reliability),
- Vollständigkeit (completeness),
- zeitliche Übereinstimmung (temporal correlation),
- geografische Übereinstimmung (geographic correlation),
- weitere technologische Übereinstimmung (further technological correlation) sowie
- Stichprobengrösse (sample size)

Detailliertere Hintergrundinformationen sind in Tabelle 5 zusammen gestellt.

Tab. 5 Pedigree Matrix um die Qualität der Daten zu quantifizieren, angepasst aus (Weidema und Wesnæs 1996).

Indikator	1	2	3	4	5	
Zuverlässigkeit	Verifizierte Daten, basierend auf Messungen	Verifizierte Daten, teilweise auf Annahmen basierend ODER nicht verifizierte Daten, basierend auf Messungen	Nicht verifizierte Daten, zum Teil auf qualifizierten Annahmen basierend	Qualifizierte Schätzung (zum Beispiel durch Industrieexperte); Daten aus theoretischen Überlegungen abgeleitet (Stöchiometrie, Enthalpie etc.)	Nicht qualifizierte Schätzung	verifiziert heisst: veröffentlicht in Umweltberichten von Firmen, offiziellen Statistiken etc. nicht verifiziert heisst: Information via Brief, Fax oder E-Mail
Vollständigkeit	Repräsentative Daten für alle Orte, relevant innerhalb des untersuchten Marktes, über eine adäquate Zeitdauer (um übliche Fluktuationen auszugleichen)	Repräsentative Daten für mehr als 50 % der Orte, relevant innerhalb des untersuchten Marktes, über eine adäquate Zeitdauer (um übliche Fluktuationen auszugleichen)	Repräsentative Daten nur für einige (< 50 %) der Orte, relevant innerhalb des untersuchten Marktes ODER > 50 % der Orte, aber aus kürzeren Zeiträumen	Repräsentative Daten für einen Ort, relevant innerhalb des untersuchten Marktes ODER von einigen der Orte, aber aus kürzeren Zeiträumen	Repräsentativität unbekannt oder Daten nur von wenigen Orten UND aus kürzeren Zeiträumen	Die Länge adäquaten Zeiträume ist abhängig von den untersuchten Prozessen / Technologien
zeitliche Übereinstimmung	Weniger als 3 Jahre Differenz zum Referenzjahr (2000)	Weniger als 6 Jahre Differenz zum Referenzjahr (2000)	Weniger als 10 Jahre Differenz zum Referenzjahr (2000)	Weniger als 15 Jahre Differenz zum Referenzjahr (2000)	Alter der Daten unbekannt oder mehr als 15 Jahre Differenz zum Referenzjahr (2000)	weniger als 3 Jahre heisst: Die Daten wurden 1997 oder später erhoben; Indikatorwert für Prozesse mit Investitionszyklen von weniger als 10 Jahren; für andere Fälle können die Indikatorwerte entsprechend angepasst werden
geografische Übereinstimmung	Daten aus dem untersuchten Gebiet	Durchschnittsdaten eines grösseren Gebietes, welches das untersuchte Gebiet beinhaltet	Daten eines kleineren Gebietes, als das untersuchte oder aus einem vergleichbaren Gebiet		Daten eines unbekannten ODER deutlich andersartigen Gebietes	Ähnlichkeit ausgedrückt in Form von Umweltgesetzgebung. Vorschlag zur Gruppierung: Nordamerika, Australien, EU, Japan, Südafrika; Südamerika, Nord- und Zentralafrika sowie
weitere technologische Übereinstimmung	Daten von Firmen, Prozessen und Materialien, welche untersucht werden (d.h. identische Technologie)		Daten aus vergleichbaren Prozessen oder Materialien aber mit gleicher Technologie ODER Daten von Prozessen und Materialien, welche untersucht werden aber basierend auf anderer Technologie	Daten aus vergleichbaren Prozessen aber mit unterschiedlicher Technologie ODER Daten aus Laborprozessen gleicher Technologie	Daten aus vergleichbaren Prozessen oder Materialien aber aus Laborprozessen mit unterschiedlicher Technologie	Beispiele für unterschiedliche Technologie: - Dampfturbine anstelle eines Verbrennungsmotors bei Schiffen - Emissionsfaktoren für B(a)P einer Diesellok basieren auf Motorendaten eines LKW Beispiele für vergleichbare Prozesse und Materialien: - Daten für Ziegel anstelle Backstein-Produktion - Daten einer Raffinerie Infrastruktur anstelle Infrastruktur eines Chemiewerks
Stichprobengrösse	>100 kontinuierliche Messungen	>20	> 10, aggregierte Zahlen in Umweltbericht	>=3	unbekannt	Stichprobengrösse angegeben bei einer Zahl der Informationsquelle

Jedes Kriterium wird in fünf Qualitätslevel mit einem Wert zwischen 1 und 5 unterteilt; entsprechend erhält jede Eingangs- und Ausgangsgrösse ein Set von sechs Indikator Werten. Anhand dieser Werte wird dann ein Unsicherheitsfaktor (ausgedrückt als Beitrag zum Quadrat der geometrischen Standardabweichung) zu jeder der sechs Eigenschaften berechnet. Diese Faktoren basieren auf Expertenschätzungen und sind in Tabelle 6 dargestellt.

Das Quadrat der geometrischen Standardabweichung (95% Interval – SD_{95}) wird dann mit Hilfe der folgenden Formel berechnet:

$$SD_{95} := \sigma_g^2 = \exp \sqrt{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2 + [\ln(U_b)]^2}$$

Gleichung (3)

Wobei gilt:

U 1: Unsicherheitsfaktor für "Zuverlässigkeit"

U 2: Unsicherheitsfaktor für "Vollständigkeit"

U 3: Unsicherheitsfaktor für "zeitliche Übereinstimmung"

U 4: Unsicherheitsfaktor für "geografische Übereinstimmung"

U 5: Unsicherheitsfaktor für "weitere technologische Übereinstimmung"

U 6: Unsicherheitsfaktor für "Stichprobengrösse"

U b: Basis-Unsicherheitsfaktor

Tab. 6 Standard Unsicherheitsfaktoren, welche zusammen mit der Pedigree Matrix angewandt werden.

Indikatorwert	1	2	3	4	5
Zuverlässigkeit	1.00	1.05	1.10	1.20	1.50
Vollständigkeit	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20
zeitliche Übereinstimmung	1.00	1.03	1.10	1.20	1.50
geografische Übereinstimmung	1.00	1.01	1.02		1.10
weitere technologische Übereinstimmung	1.00		1.20	1.50	2.00
Stichprobengrösse	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20

Das dargestellte Vorgehen mittels der Pedigree-Matrix wird sowohl in ecoinvent angewandt, als auch für diejenigen Prozesse, welche für dieses Projekt neu erstellt worden sind. Die festgelegten Indikatorwerte zur Unsicherheitsabschätzung gemäss obiger Tabelle sind in der Software, wie das Beispiel in Abbildung 3 zeigt, zu finden.

S	Input	Menge	Fehler	Min.	Max.	BA Bemerkungen
☒	Alkydharzlack, weiss, 60% in H2O, ab Werk	RER 0.035 kg	4.4	0.00	0.00	(2,3,1,1,1); oral communication and own calculations
☒	Alkydharzlack, weiss, 60% in Lösemittel, ab Werk	RER 0.021 kg	4.4	0.00	0.00	(2,3,1,1,1); oral communication and own calculations
☒	Glyphosat, ab Regionallager	CH 0.000 kg	4.4	0.00	0.00	(2,3,1,1,1); oral communication and own calculations
☒	Kies gebrochen, ab Abbau	CH 2.110 kg	12.6	0.00	0.00	(3,3,3,1,1,5); literature studies and own calculations
☒	Natriumchlorid, Pulver, ab Werk	RER 2.560 kg	4.4	0.00	0.00	(2,3,1,1,1); de-icing salt study and own calculations
☒	Strom, Mittelspannung, ab Netz	CH 7.400 kWh	12.6	0.00	0.00	(3,3,3,1,1,5); literature studies and own calculations
☒	Transport, Pkw	CH 0.797 pkm	44.2	0.00	0.00	(3,3,3,1,1,5); literature studies and own calculations

Abb. 3 Liste der Inputprozesse für den Hilfsprozess "Unterhalt Strasse"

Die gesammelten Daten wurden mit der Pedigree- Matrix bewertet (Tabelle 7 und Tabelle 8). Die geschätzte Standardabweichung (SD_{g95}) liegt zwischen 1.26 und 1.67. Die geschätzte Standardabweichung wird erhöht, weil die Daten wesentlich später erhoben wurden als das geltende Referenzjahr (2000). Um genauere Daten zu erhalten, hätten grössere Stichproben gemacht werden müssen. Dies war jedoch nicht nötig, da die Präzision der Daten ausreicht, um die Genauigkeit der Gesamtbilanzierung konstant zu halten bzw. um aussagekräftige Vergleiche und Schlussfolgerungen zu ermöglichen.

Tab. 7 Bewertung der gesammelten Daten zu Produktezusammensetzung nach Pedigree-Matrix und daraus geschätzte Standardabweichung

Pedigree	Kaltmischgut	Oberflächenbehandlung	Emulsion für Oberflächenbehandlung	Farbloses Bitumen	Verjüngungsmittel für Recycling
Zuverlässigkeit	2	3	4	4	3
Vollständigkeit	3	3	3	3	3
zeitliche Übereinstimmung	4	4	4	4	4
geografische Übereinstimmung	3	3	3	3	3
weitere technologische Übereinstimmung	1	1	1	1	1
Stichprobengrösse	5	4	5	5	5
SD _{g95}	1.31	1.26	1.38	1.38	1.32

Tab. 8 Bewertung der gesammelten Daten zu Rohstoffkosten nach Pedigree-Matrix und daraus geschätzte Standardabweichung

Pedigree	Bitumen	White Spirit	Naphta Hochsiedend	Spindelöl	Rapsöl	Sonnenblumenöl
Zuverlässigkeit	2	2	2	3	2	2
Vollständigkeit	4	4	4	4	4	4
zeitliche Übereinstimmung	4	4	4	4	4	4
geografische Übereinstimmung	3	3	3	3	3	3
weitere technologische Übereinstimmung	1	1	1	4	1	3
Stichprobengrösse	5	5	5	5	5	5
SD _{g95}	1.32	1.32	1.32	1.65	1.32	1.47

Die Indikatorenwerte sind jeweils in den Bemerkungen sichtbar, wobei die Reihenfolge der Zahlen derjenigen in Tabelle 5 entspricht.

3.5.2 Einschränkungen der Unsicherheitsanalyse

Der hier vorgestellte Ansatz kann verschiedene Fehler der Daten abbilden, jedoch können noch weitere Fehler auftreten, welche mit der Pedigree Matrix nicht berücksichtigt werden können, da sie systematischer Art sind und die den Gesamtfehler eines Prozesses ebenfalls beeinflussen. Diese Fehler sind unter Abschnitt 3.5 in der Einführung aufgeführt.

Zudem sind auch Grenzen der Unsicherheitsabschätzung mit der Pedigree Matrix zu berücksichtigen. So ist zum Beispiel zu beachten, dass die Werte der Eigenschaft "sample size" nicht sehr gut mit der Unsicherheit der verwendeten Werte korrelieren. Es kann sein, dass eine kleine Stichprobe sehr zuverlässige Angaben liefert, während in gewissen Bereichen wie der Landwirtschaft auch Stichproben von bis zu 100 nicht genügend umfangreich sein können.

Teilweise sind Werte (und damit die Unsicherheiten) der Eingangs- und Ausgangsgrößen eines Prozesses voneinander abhängig. So zeigt beispielsweise der Benzinverbrauch einen direkten, linearen Zusammenhang zu den CO₂-Emissionen. Falls dies bei der Eingabe der Fehler und der Berechnung nicht berücksichtigt wird, so hat dies einen Einfluss auf die berechneten Unsicherheiten.

Auf Grund dieser Einschränkungen und der Tatsache, dass die Fehlerbestimmung im Allgemeinen auf Schätzungen beruht, auch wenn diese auf einem nachvollziehbaren System basiert, sind die angegebenen Unsicherheiten als qualifizierte Schätzung und nicht als exakte Bestimmung der Unsicherheiten zu betrachten.

3.6 Darstellung der Resultate

Für die Analyse wurden verschiedene Auswirkungen berechnet. Ausgewiesen werden jedoch nicht alle in Kapitel 3.3 ausgewiesenen Wirkungen, sondern nur diejenigen, welche für die Interpretation der Resultate wichtig sind. Das Treibhauspotential wird ausgewiesen, da die Auswirkungen auf das Klima von hoher Aktualität sind.

In Kapitel 6.1.2 wird evaluiert, welche der drei gesamttaggregierenden Methoden geeignet ist zur Bewertung der untersuchten Systeme. Diese wird anschliessend verwendet, um die Resultate darzustellen und zu interpretieren.

Auf Grund der Komplexität der untersuchten Varianten und der damit verbundenen Prozesse und deren Auswirkungen, welche bei der Ökobilanzierung berücksichtigt werden, sind die Resultate mit Unsicherheiten behaftet (vergleiche Kapitel 3.5). Um die Aussagekraft der Ergebnisse anzugeben, wurden diese Unsicherheiten berechnet und im Bericht als Unsicherheitsbereiche ausgewiesen. Ein Unterschied zwischen zwei Werten wird in dieser Studie als signifikant gewertet, wenn sich die angegebenen Unsicherheitsbereiche nicht überschneiden.

4 Aktueller Stand LCA im Strassenbau

Eine Literaturrecherche zeigte, dass mehrere Dutzend Studien und Artikel existieren, welche die Umweltauswirkungen des Strassenbaus mit der Methode der Ökobilanzierung untersuchen. Bei vielen Studien handelt es sich allerdings eher um Life Cycle Inventories (LCIs, Ökoinventare) und nicht um vollständig, bewertete Ökobilanzen (LCIAs). Santero hat den Grossteil dieser Studien in Form einer Meta-Analyse diskutiert und recht umfassend dokumentiert (Santero 2010). Ebenso ist eine Zusammenstellung der Literatur sowie der Kernaussagen der einzelnen Studien in einen Artikel von Carlson (2011) zu finden.

Da die vorliegende Untersuchung mit Schwerpunkt verschiedene Bindemittelzusätze untersucht und vollständige Strassenabschnitte in erster Linie nur zur Vervollständigung verwendet, können nicht alle der in diesem Abschnitt dargestellten Erkenntnisse direkt übertragen werden. Um einen Überblick über das bestehende Wissen zu erhalten, werden dennoch die bereits bekannten Erkenntnisse aus der Literatur im Folgenden kurz zusammengestellt. Für mehr Details wird auf die Studien von Santero und Carlson verwiesen.

Ein Grossteil der Studien richtet sich bei der Modellierung des untersuchten Systems von Aufbau her nach dem Schema in der folgenden Abbildung 4:

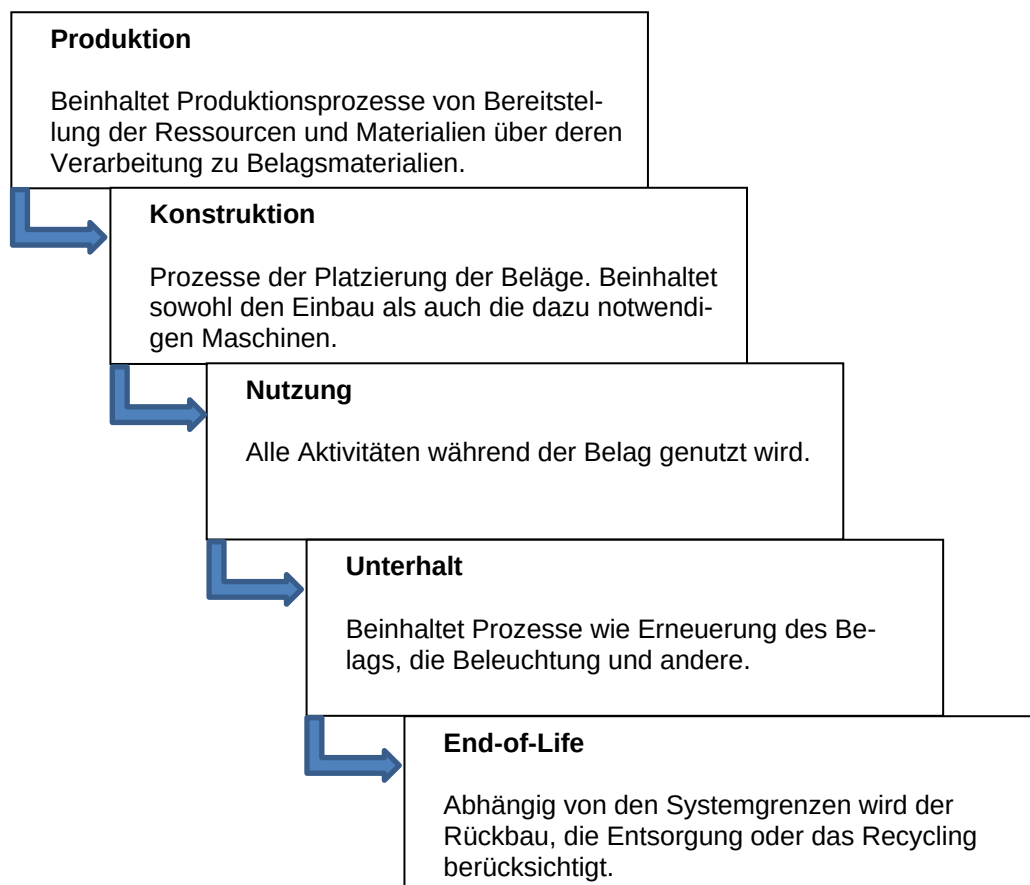


Abb. 4 Lebenszyklus-Phasen für Strassen; modifiziert nach (Santero 2010)

Welche der einzelnen Phasen in den Untersuchungen berücksichtigt wurden, ist im folgenden Kapitel dargelegt.

4.1 Untersuchungsrahmen der verschiedenen Studien

4.1.1 Berücksichtige Lebenszyklus-Phasen

Je nach Untersuchung wurden unterschiedliche der oben dargestellten Phasen innerhalb des Lebenszyklus berücksichtigt, eine Zusammenstellung der entsprechenden Ergebnisse ist in Tabelle 9 zu finden.

Tab 9 Berücksichtigte Lebenszyklus-Phasen Strasse (modifiziert nach (Carlson 2011) und (Santero 2010))

Referenz	Lebenszyklus-Phase der Strasse				
	Bau		Unterhalt	Nutzung	Entsorgung
	Aushub	Oberfläche		Verkehr	
Häkkinen & Mäkele (1996)	-	X	X	X	-
Mroueh et al. (2001)	X	X	X	X	-
Stripple (2001)	X	X	X	X	-
Hoang et al. (2005)	-	X	X	-	-
Olsson et al. (2006)	X	-	-	X	X
Birgisdottir et al. (2007)	X	X	-	-	-
Sayagh et al. (2010)	-	X	X	-	-
ECRPD (2010)	-	X	X	-	-
Vorliegende Untersuchung	(X) ²	X	(X) ³	-	-

Die Zusammenstellung in Tabelle 9 macht deutlich, dass beträchtliche Unterschiede bei den berücksichtigten Phasen bestehen. Entsprechend sind die Resultate der verschiedenen Studien nur begrenzt miteinander vergleichbar.

4.1.2 Verwendete Funktionelle Einheit

Die Definition der Funktionellen Einheit hängt unter anderem von der Fragestellung und damit dem Ziel der Studie ab. Entsprechend weisen die verschiedenen Studien eine hohe Variabilität bezüglich der verwendeten Funktionellen Einheit auf (vergleiche Tabelle 10), was Vergleiche zwischen unterschiedlichen Studien fast verunmöglicht (Carlson 2011). Die meisten Studien verwenden als Funktionelle Einheit 1 km Strasse. Dabei ist zu beachten, dass die Anforderungen an die Strassen sehr unterschiedlich sein können. Aus diesem Grund sind Vergleiche auch dann nur beschränkt möglich, wenn die Studien dieselbe Funktionelle Einheit verwenden.

² jeweils für die Kapitel, in denen vollständige Strassenabschnitte diskutiert werden

³ jeweils für die Kapitel, in denen vollständige Strassenabschnitte diskutiert werden

Tab 10 Zeitraum der Analyse und funktionelle Einheiten [modifiziert nach (Carlson 2011)]

Referenz	Zeitraum der Analyse	Funktionelle Einheit
Häkkinen & Mäkele (1996)	50 a	1 km Strassenoberfläche, Schnellstrasse
Mroueh et al (2001)	50 a	1 km Schnellstrasse
Stripple (2001)	40 a	1 km Strasse
Hoang et al. (2005)	30 a	1 km Strassenoberfläche, Autobahn
Olsson et al. (2006)	Keine Angabe	1 km Strasse
Birgisdottir et al. (2007)	100 a	4'400 Tonnen Asche (1 km Strasse)
Sayagh et al. (2010)	30 a	1 km Strassenoberfläche
ECRPD (2010)	25 a	1 km Strassenoberfläche, vier Strassen

4.1.3 Unterhalt

Wie Tabelle 9 zeigt, wird der Unterhalt der Strassen bei den meisten Untersuchungen berücksichtigt. Welche Tätigkeiten dem Unterhalt angerechnet werden, ist jedoch unterschiedlich (Pestizideinsatz, Strassenmarkierungen, Beleuchtung etc.). So wurde beispielsweise die Beleuchtung entlang der Strassen je nach Studie unterschiedlich berücksichtigt oder auch vollständig ausgeschlossen.

4.1.4 Entsorgung

Bei fast allen Untersuchungen wird die Entsorgung der Strassenbeläge nicht berücksichtigt. Nur in der Arbeit von Olsson wird sie extra berechnet (Tabelle 9). Da davon ausgegangen werden kann, dass die verschiedenen Bindemittelzusätze keinen signifikanten Einfluss auf den Entsorgungsprozess haben, wird auch in der vorliegenden Untersuchung die Entsorgung nicht berücksichtigt. Der Unterschied der fossilen und der biogenen Bindemittelzusätze bezüglich der möglichen CO₂ Emissionen bei der Entsorgung wird berücksichtigt, indem bei den biogenen Bindemittelzusätzen die CO₂ Aufnahme beim Wachstum der Pflanzen als negative CO₂ Emission berücksichtigt wird, siehe hierzu auch Kapitel 5.1.3.2.

4.2 Erkenntnisse aus diesen Literaturstudien

4.2.1 Relevante Materialien und Prozesse

Bezüglich des Strassenbaus wird Zement für Betonstrassen und Bitumen für Asphaltstrassen als die zwei Hauptgrössen bezüglich der Umweltbelastung angegeben. Bei den Abläufen selber wird vor allem die Bereitstellung und die Produktion dieser Materialien als Hauptverantwortlich bei den Umweltauswirkungen angegeben (Häkkinen und Mäkelä 1996; Mroueh u. a. 2001). Des Weiteren wird auch die Entsorgungsphase als signifikant betrachtet und neben der Produktionsphase erwähnt (Olsson u. a. 2006).

4.2.2 Relevanz des Strassenbaus

Einige der Untersuchungen haben zusätzlich den Energiebedarf des Strassenbaus ins Verhältnis zum Energiebedarf des Verkehrs gesetzt. Dabei wurde festgestellt, dass Bau, Betrieb und Unterhalt von Strassen nur ein Bruchteil der Energie benötigt, welche der assoziierte Verkehr braucht (Häkkinen und Mäkelä 1996; Mroueh u. a. 2001; Stripple 2001). Dennoch ist der Anteil nicht vernachlässigbar. So berechnet (Stripple 2001) beispielsweise einen Anteil von ca. 10 %. Da aber alle der erwähnten Studien aufgezeigt haben, dass der Treibstoffverbrauch des Verkehrs den weitaus grössten Anteil beim Energiebedarf aufweist, könnten demzufolge bereits geringe Änderungen der Strassenoberfläche, welche den Treibstoffverbrauch reduzieren, einen positiven Effekt auf den Gesamtenergiebedarf haben. Keine der bekannten Studien haben diesen oder den Effekt des Oberflächenverschleisses auf den Treibstoffverbrauch berücksichtigt (ECRPD 2010).

5 Modellierung der Vergleichssysteme

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und Annahmen, welche dieser Studie zugrunde liegen, zusammengestellt. Die Resultate werden anschliessend in Kapitel 6 dargestellt.

5.1 Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Die Definition der zu untersuchenden und vergleichenden Systeme hängt von der Zielsetzung bzw. Fragestellung ab. Daraus ergeben sich unterschiedliche Rahmenbedingungen und Systemgrenzen. Die Systemgrenzen definieren, welche Prozesse und vorgelagerten Prozesse berücksichtigt werden. Dabei müssen der zeitliche und geographische Rahmen der verwendeten Daten sowie die zu untersuchenden Umweltauswirkungen festgelegt werden.

5.1.1 Zielsetzung

Das Ziel bestand darin die folgenden Fragen zu beantworten:

1. Sind biogene Bindemittel / -zusätze ökologisch sinnvoller als konventionelle Bindemittel auf fossiler Basis?
2. Welche sind die grössten Umweltauswirkungen?
3. Wo im Verlauf des Lebenszyklus von biogenen Ölen treten die grössten Umweltauswirkungen auf?
4. Wie sieht der Vergleich der biogenen Öle mit herkömmlichen fossilen Ölen aus?
5. Welche Relevanz haben die Umweltauswirkungen der biogenen Öle im gesamten Strassenbau?
6. Wie sieht die Ökoeffizienz der betrachteten Bindemittel mit den biogenen Zusätzen aus?
7. Welche Optimierungspotentiale können abgeleitet werden?
8. Wo besteht allenfalls noch Forschungsbedarf in diesem Bereich?

Zur Beantwortung dieser Fragen soll die Methode der Ökobilanzierung verwendet werden. Mit dieser Methode werden die Umweltauswirkungen über den gesamten Lebensweg erfasst und bewertet. Auf der Basis dieser Analyse können sowohl die relevanten Umweltauswirkungen bestimmt, Optimierungspotentiale eruiert und Vergleiche zwischen verschiedenen Bindemitteln gemacht werden.

5.1.2 Funktionelle Einheit

Gemäss Literatur (siehe Kapitel 2.3) und Diskussion mit den Experten der Begleitgruppe des Projektes sind die Systeme technisch vergleichbar bezüglich:

- Der Lebensdauer der Beläge
- Der Gebrauchseigenschaften der Beläge
- Der Rezyklierfähigkeit, beziehungsweise der Entsorgung
- Des Energiebedarfs beim Einbau
- Der verwendeten Mengen
- Der biologischen Abbaubarkeit

Entsprechend wurden nur die unterschiedlichen Aufwände bei der Bereitstellung der konventionellen Zusatzstoffe und der biogenen Öle als wesentlich eingestuft. Zudem können biogene Öle im Vergleich zu konventionellen Bindemitteln folgende Zusatz- oder Mindernutzen haben:

- Geringere Emissionen von Kohlenwasserstoffen beim Einbau

- Ebenso wurde die Exposition von Personen mit Lösungsmitteldämpfen berücksichtigt. Dies ist bei Kaltmischgut in erheblichem und bei der Anwendung von Heisssspritzbindemittel in geringerem Masse der Fall.

Der Zusatznutzen, welcher sich aus den geringeren Kohlewasserstoff-Emissionen ergeben, wurde beim Vergleich der Bindemittel berücksichtigt, jedoch nicht bei der Herstellung der Bindemittelzusätze, da diese Emissionen erst beim Einbau auftreten.

Da Bindemittel nur geringe Anteile an Bindemittelzusätzen aufweisen, im Strassenbau relativ gesehen nur geringe Mengen Bindemittel benötigt werden und die übrigen Komponenten gleich bleiben, ist zu erwarten, dass die Unterschiede der Strassenbeläge in Abhängigkeit der Bindemittelzusätze klein sind. Um die allfälligen Unterschiede dennoch sichtbar zu machen, erfolgte die Analyse auf den folgenden drei Ebenen:

1. Vergleich der Herstellung der Bindemittelzusätze ohne deren Einsatz und der damit verbundenen Emissionen.

Für diesen Vergleich wird die folgende funktionelle Einheit verwendet:

1 kg Bindemittelzusatz

2. Vergleich der Bindemittel Herstellung inkl. Kohlewasserstoff-Emissionen beim Einbau.

Für diesen Vergleich wird die folgende funktionelle Einheit verwendet:

1 kg Bindemittel

3. Vergleich von ganzen Strassenabschnitten Herstellung inklusive Einbau.

Für diesen Vergleich wird die folgende funktionelle Einheit verwendet:

1 m² Strasse

5.1.3 Systemgrenzen

Die Grenzen des untersuchten Systems sind in Anlehnung an Abbildung 5 festgelegt worden. Für die Vergleiche der Bindemittelzusätze wurde nur die Produktion berücksichtigt.

Beim Vergleich der Bindemittel wurden neben der Produktion auch die Kohlewasserstoff-Emissionen bei der Konstruktion berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass die anderen Phasen keine Unterschiede aufgrund der biogenen Bindemittelzusätze gegenüber den konventionellen aufweisen.

Beim Vergleich gesamter Strassenabschnitte in Kapitel 6.3.1, Abbildung 16 wurde sowohl Produktion und Konstruktion als auch der Unterhalt berücksichtigt. Die Berücksichtigung von biogenem CO₂ ist im folgenden Kapitel 5.1.3.2 dargelegt.

5.1.3.1 Unterhalt

Der vorliegende Bericht berücksichtigt die Auswirkungen des Unterhalts basierend auf den Angaben im Bericht ecoinvent oder Prozesse, welche entsprechend den Qualitätsstandards von ecoinvent angepasst wurden. (2007), Seite 81. Zu beachten ist, dass die Angaben zur Beleuchtung grosse Unterschiede aufweisen zwischen den Angaben im Bericht (7.4kWh/m*a) und dem Wert in der Datenbank von ecoinvent (49.2 kWh/m*a). Gemäss dem Autor des betroffenen Datensatzes sind die Angaben im Bericht korrekt, derjenige in der ecoinvent-Datenbank falsch und sollten nicht verwendet werden. Entsprechend haben wir den Wert aus dem Bericht verwendet.

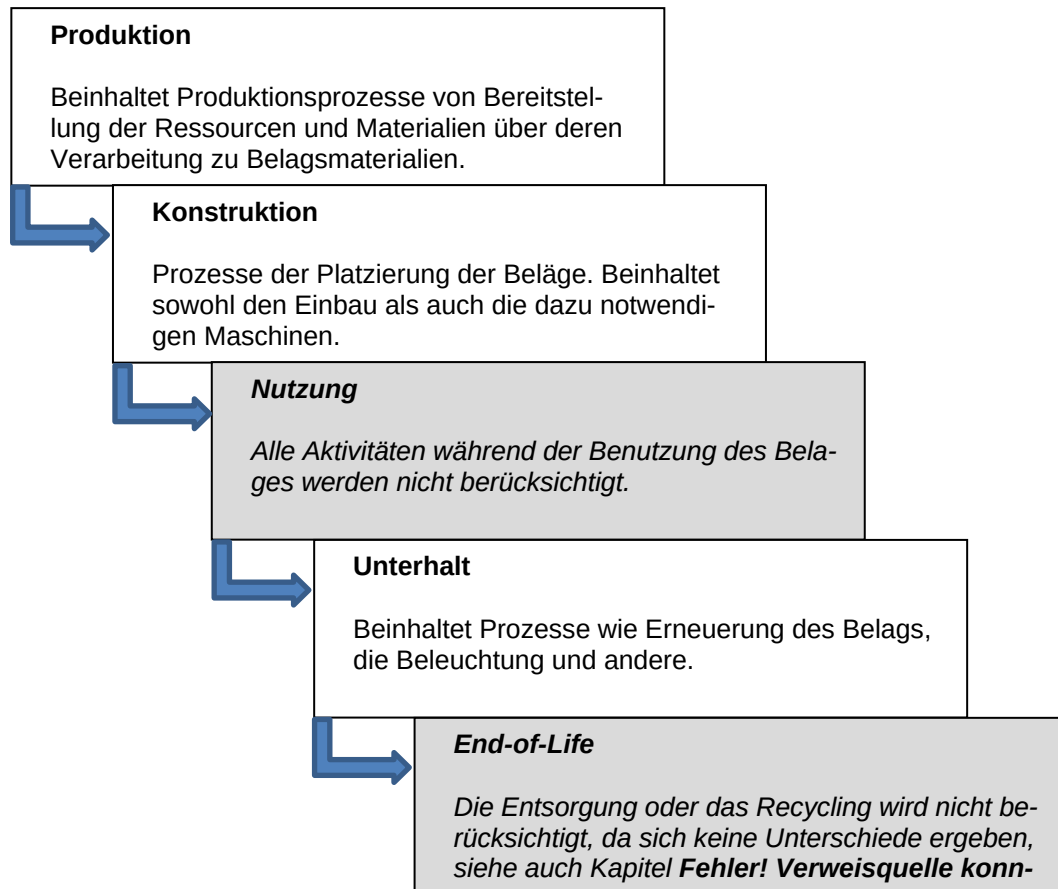


Abb. 5 Systemgrenzen des Systems; modifiziert nach (Santero 2010). Mit Ausnahme der Betrachtung gesamter Strassenabschnitte in Kapitel 6.3.1, wird nur die Produktionsphase betrachtet. Die grau hinterlegten Phasen werden in dieser Studie nicht betrachtet

5.1.3.2 Entsorgung und Berücksichtigung von biogenem CO₂

Da davon ausgegangen werden kann, dass die verschiedenen Bindemittelzusätze keinen signifikanten Einfluss auf den Entsorgungsprozess haben, wird wie schon erwähnt, in der vorliegenden Untersuchung die Entsorgung nicht berücksichtigt. Der Unterschied der fossilen und der biogenen Bindemittel bezüglich der möglichen CO₂ Emissionen bei der Entsorgung wird berücksichtigt, indem bei den biogenen Bindemitteln die CO₂ Aufnahme beim Wachstum der Pflanzen als negative CO₂ Emission (CO₂ Senke) berücksichtigt wird (Details dazu siehe Annex I.2).

5.2 Datengrundlage

Die Grundlagen zur Modellierung der verschiedenen Systeme wurden aufgrund der Erfahrungen aus bereits bestehenden Untersuchungen im Bereich des Strassenbaus erarbeitet. Sowohl verschiedene Strassentypen als auch unterschiedliche Arten bei der Herstellung des Asphalts (Heiss- und Kaltmischgut) und der Bindemittel beziehungsweise der Bindemittelzusätze wurden berücksichtigt. Die zur Modellierung verwendeten Grundlagenprozesse der verschiedenen Bindemittelzusätze sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tab. 11 Verwendete Grundprozesse bei der Modellierung

Prozessname des Zusatzes	Anwendung	Bemerkungen	Quelle
Bitumen, ab Raffinerie	Alle ausser Farbloses Bitumen.	Original ecoinvent-Prozess	ecoinvent 2.1
White Spirit, CAS-Nr. 64742-82-1	Kaltemischgut	Original ecoinvent-Prozess	ecoinvent 2.1
Gereinigtes Naphtha, hochsiedend (z.B. Shellsol D100), CAS-Nr. 64742-47-8: mit Wasserstoff behandelte leichte Erdöl-Destillate	Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung	Angenähert mit gereinigtem Naphtha	Neu erstellt basierend auf ecoinvent 2.2
Spindelöl, CAS-Nr. 64742-52-5	Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung Emulsion für Oberflächenbehandlung Farbloses Bitumen Verjüngungsmittel für Recycling	Angenähert mit durchschnittlichen Erdöl-Produkten	Neu erstellt basierend auf ecoinvent 2.2
Sonnenblumenöl, ab Ölmühle	Alle	Biogener Zusatz der als Standard verwendet wurde, da er gemäss Aussage von Herstellern am geeignetsten ist.	ecoinvent 2.1
Rapsöl, ab Ölmühle<		Sensitivität und Vergleich mit Sonnenblumenöl	Carbotech AG
Pflanzenöl, aus Altspeiseöl, ab Aufbereitung		Sensitivität und Vergleich mit Sonnenblumenöl	ecoinvent 2.1

Weitere vorgelagerte Prozesse bezüglich Infrastruktur, Transporte, Energiebereitstellung etc. wurden aus ecoinvent 2.2 übernommen.

Basierend auf diesen Grundlagen wurden sowohl die einzelnen Bindemittel und Zusätze als auch komplette Strassenabschnitte modelliert. Für die kompletten Strassen wurde auf eigene Daten sowie die Grundlagen in (Kellenberger u. a. 2007) zurückgegriffen.

5.3 Nicht berücksichtigte Punkte

Folgende Aspekte wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Explosionsrisiko

Die mögliche Verminderung eines Explosionsrisikos durch den Ersatz von flüchtigen Kohlewasserstoffen und der damit einhergehenden Gefahr für Schäden oder Verletzungen wurden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt, da es keine verlässlichen Zahlen dazu gibt. Zudem beinhaltet die Methode der Ökobilanzierung zum jetzigen Zeitpunkt nicht die Berücksichtigung von Risiken.

Abbaubarkeit der biogenen Zusätze

Ein Vorteil für biogene Bindemittelzusätze könnte sich bei Schadenfällen ergeben, falls beim Einbau oder Transport zur Baustelle Bindemittel in die Umwelt gelangen. In diesem Falle könnten biogene Bindemittel Vorteile aufweisen. Um diese Aspekte zu berücksichtigen, müsste die Ökobilanzierung mit einer Risikoanalyse ergänzt werden.

Eine allfällige bessere Abbaubarkeit von biogenen Zusätzen bei der Entsorgung wurde ebenfalls nicht berücksichtigt. Jedoch wurde die Tatsache, dass bei einer allfälligen thermischen Entsorgung Kohlendioxid aus biogener Quelle entsteht, vollständig berücksichtigt.

6 Resultate

Im Folgenden werden zuerst die Auswirkungen der Verwendung von biogenen Ölen mit denjenigen herkömmlicher fossiler Öle verglichen. Danach wird jeweils im Detail dargestellt, wo im Verlauf des Lebenszyklus von biogenen Ölen und fossilen Lösungsmitteln und Ölen die grössten Umweltwirkungen entstehen. In einem dritten Schritt wird anhand von Strassenabschnitten bzw. kompletten Strassen aufgezeigt, wie relevant die Umweltauswirkungen des Einsatzes biogener Öle im gesamten Strassenbau sind.

6.1 Vergleich von biogenen mit fossilen Ölen im Strassenbau

Verglichen wird jeweils die gleiche Menge an Bindemittelzusätzen. Da jeweils vergleichbare (aber nicht identische) Mengen an biogenen oder konventionellen Bindemittelzusätzen verwendet werden, sind die Abweichungen zu den späteren Berechnungen der Szenarien der Mischungen oder Strassenabschnitte nicht sehr gross.

6.1.1 Umweltauswirkung der verschiedenen Bindemittelzusätze

In Abbildung 6 sind die Umweltauswirkungen der verschiedenen Bindemittelzusätze gemäss der Methode CML (Guinée u. a. 2002) dargestellt. Dabei wurden die verschiedenen Auswirkungen jeweils auf die höchste Auswirkung normiert. Damit wird die höchste Auswirkung auf 100% gesetzt und die entsprechenden Auswirkungen der anderen Bindemittel als Anteil da-von ausgewiesen. Diese Normierung ist notwendig, um die verschiedenen Auswirkungen in einer Graphik darzustellen, da sich die absoluten Werte der Wirkungen um Grössenordnungen unterscheiden. Diese Abbildung zeigt die folgenden Resultate:

- Die biogenen Bindemittelzusätze haben Vorteile bezüglich der Auswirkungen auf das Klima und bezüglich des Bedarfs an nicht erneuerbaren Ressourcen
- Zudem haben die biogenen Bindemittelzusätze geringere Auswirkungen auf den Sommersmog als gewisse Bindemittelzusätze auf fossiler Basis, wie zum Beispiel gereinigtes Naphtha.
- Bindemittelzusätze auf fossiler Basis haben dagegen geringere Auswirkungen bezüglich der Überdüngung und der Versauerung als biogene Bindemittelzusätze aus landwirtschaftlichem Anbau.
- Das Bindemittel aus biogenen Reststoffen (Pflanzenöl aus Altspeiseöl) hat vergleichbare bis tendenziell tiefere Umweltauswirkungen als die fossilen Bindemittel.

Diese Resultate sind typisch für Vergleiche von biogenen Rohstoffen mit solchen auf fossiler Basis und zeigen das Problem der Entscheidungsfindung auf der Basis der Wirkbilanz. Auf der Basis dieser Ergebnisse kann keine objektive Entscheidung gefällt werden.

Um die Relevanz der verschiedenen Auswirkungen zu ermitteln wurde eine Normierung durchgeführt (siehe auch Kapitel 3.4). Die Resultate der Normierung (siehe Abbildung 7) zeigen welche Anteile das betreffende Produkt an den gesamten Umweltauswirkungen haben, die durch menschliche Tätigkeiten in Europa verursacht werden. Damit wird ersichtlich, dass die folgenden Auswirkungen zumindest für einige der Bindemittel über den gesamten Lebensweg eine hohe Relevanz aufweisen:

- Überdüngung
- Abiotischer Ressourcenverbrauch

Von etwas untergeordneter Bedeutung, jedoch immer noch relevant sind in diesem Falle die Auswirkungen auf:

- Klimawandel
- Versauerung

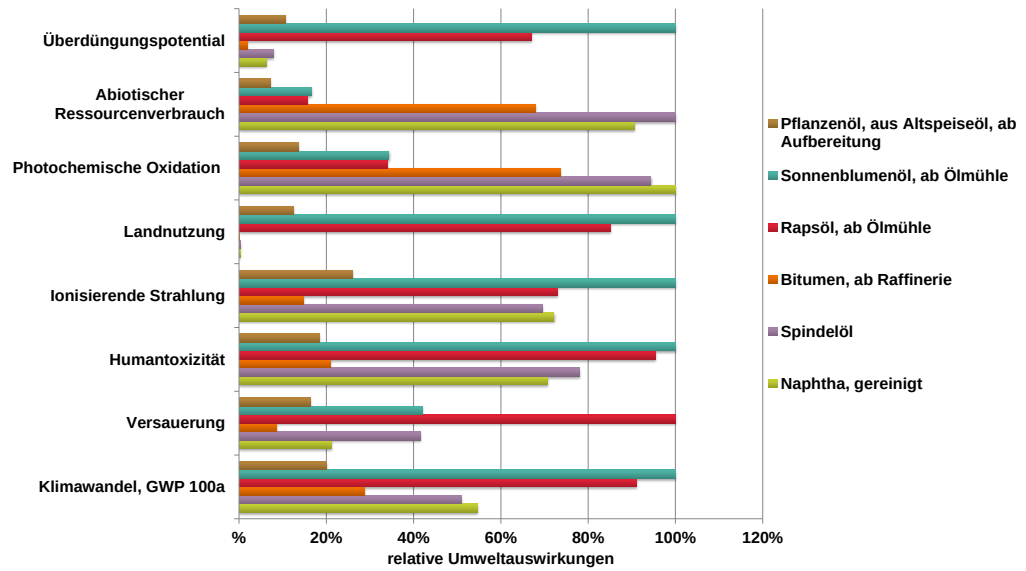


Abb. 6 Vergleich der Umweltauswirkungen von konventionellen und biogenen Bindemittel-inhaltsstoffe

Im Anhang ist in Abbildung 18 exemplarisch die Darstellung der Midpoint-Kategorien nach CML 2001 (Guinée u. a. 2002) für Rapsöl und gereinigtes Naphtha zu finden.

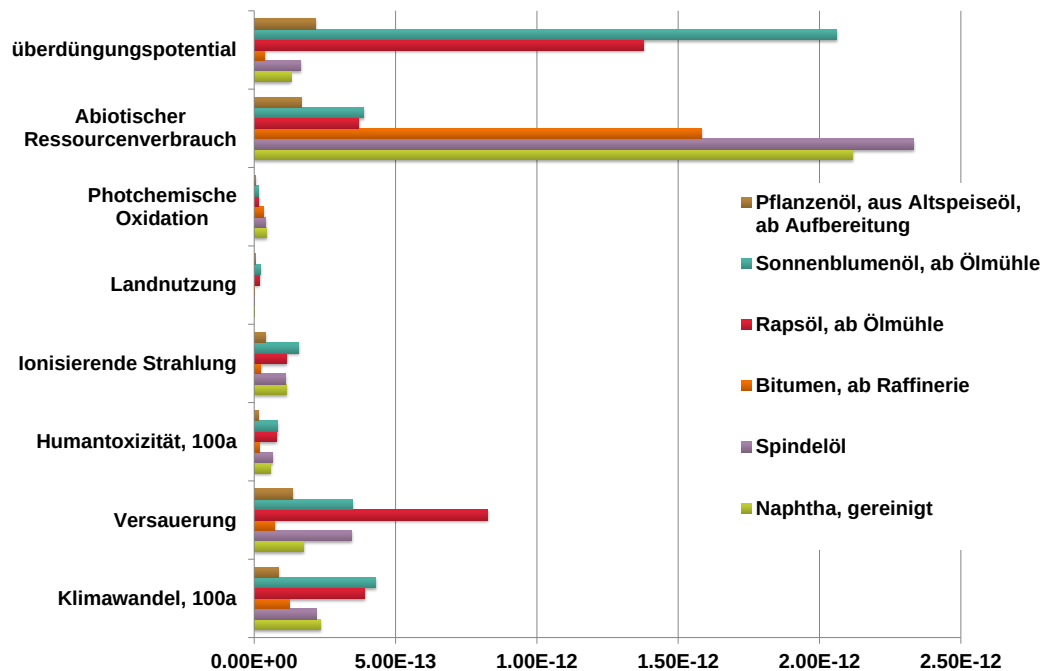


Abb. 7 Vergleich der normierten Umweltauswirkungen von konventionellen und biogenen Bindemitteln

6.1.2 Auswahl der geeigneten gesamttaggregierenden Bewertungsmethode

Im Folgenden werden die drei Bewertungsmethoden dahingehend untersucht, ob sie die für die untersuchten Materialien relevanten Umweltauswirkungen berücksichtigen.

Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht u. a. 2008)

Diese Methode berücksichtigt die klimarelevanten Auswirkungen, die Überdüngung von Böden und Gewässern, Säurebildung, Ozonbildung, Ressourcenbedarf und toxische Auswirkungen.

Auf Grund der Umfassenden Berücksichtigung der relevanten Auswirkungen ist diese Methode für die Bewertung in diesem Projekt geeignet.

Eco-Indicator 99 (Goedkoop u. a. 2000)

Diese Methode berücksichtigt sowohl die klimarelevanten Auswirkungen, wie auch die Auswirkungen von Substanzen, welche säurebildend wirken, zur Ozonbildung beitragen, toxische Auswirkungen haben und den Ressourcenbedarf. Jedoch berücksichtigt diese Methode nicht die Auswirkungen auf die Überdüngung von Frischwasser und von Meeren. Die Überdüngung von Böden wird begrenzt über die Landnutzung berücksichtigt.

Auf Grund der Tatsache, dass für gewisse der untersuchten Bindemittelzusätze die Überdüngung sehr relevant ist, ist diese Methode für dieses Projekt nicht geeignet und wird nicht für die Gesamtbewertung verwendet.

ReCiPe (Goedkoop u. a. 2009)

Diese Methode berücksichtigt sowohl die klimarelevanten Auswirkungen, wie auch die Auswirkungen von Substanzen, welche säurebildend wirken, zur Ozonbildung beitragen, toxische Auswirkungen haben und den Ressourcenbedarf. Jedoch berücksichtigt diese Methode nur die Auswirkungen auf die Frischwasser Eutrophierung. Die Überdüngung von Meeren wird nicht berücksichtigt. Die Überdüngung von Böden wird begrenzt über die Landnutzung berücksichtigt.

Auf Grund der Tatsache, dass für gewisse der untersuchten Bindemittel die Überdüngung sehr relevant ist, ist diese Methode für dieses Projekt nicht geeignet und wird nicht für die Gesamtbewertung verwendet.

Vergleich

Zur Illustration ist in Abbildung 8 die Bewertung von zwei konventionellen Bindemittelzusätzen und zwei biogenen Bindemittelzusätzen mit diesen drei Methoden dargestellt. Diese Darstellung zeigt:

- Bei der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit zeigen die Bindemittelzusätze aus fossilen Ressourcen gesamthaft geringere Umweltauswirkungen als diejenigen aus biogenen Rohstoffen aus landwirtschaftlichem Anbau.
- Bei der Bewertung mit der Methode Eco-Indicator 99 zeigt sich ebenfalls, dass die fossilen Produkte geringere Auswirkungen haben als die biogenen Produkte. Jedoch sind die Unterschiede zwischen den Produkten aus fossilen und biogenen Ressourcen etwas geringer als bei der Methode der ökologischen Knappheit, da bei der Methode Eco-Indicator 99 eine wesentliche Belastung der biogenen Produkte, die Überdüngung, nur beschränkt berücksichtigt wird.
- Die Methode ReCiPe bewertet alle vier Produkte in etwa gleich, da relevante Einflüsse der Landwirtschaft nicht umfassen berücksichtigt sind, werden die biogenen Produkte zu gut beurteilt.
- Obwohl zwei Methoden die biogenen Produkte zu gut bewerten, zeigt keine der drei Methoden einen ökologischen Vorteil für die biogenen Produkte.

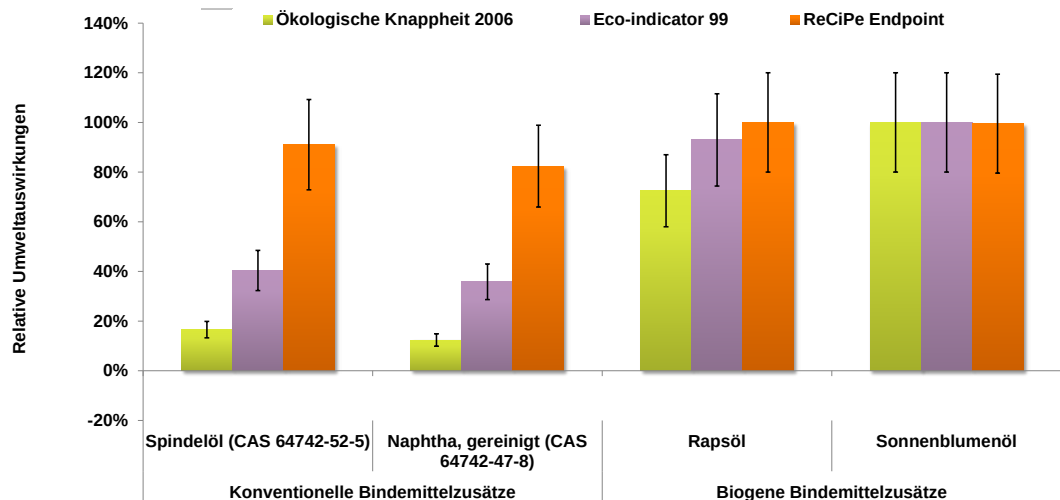


Abb. 8 Vergleich konventionelle und biogene Bindemittel, Bewertung mittels dreier voll-aggregierenden Methoden. Die Balken geben 95% Konfidenzintervalle an.

Verwendete Methode

Im Folgenden wird für die Gesamtbewertung jeweils die Methode der ökologischen Knappheit verwendet, da es für die untersuchten Produkte die geeignetste Methode darstellt. Zu-dem berücksichtigt diese Methode die Umweltsituation in der Schweiz sowie die Umweltziele der Schweiz.

6.1.3 Vergleich Bindemittelzusätze, vollaggregiert

Abbildung 9 zeigt einen generellen Vergleich aller betrachteten Bindemittelzusätze, jeweils aufgeteilt nach konventionellen und biogenen Zusätzen. Zur Illustration wird auch Altspeiseöl dargestellt, auch wenn dieses für die realen Anwendungen anschliessend nicht berücksichtigt wird.

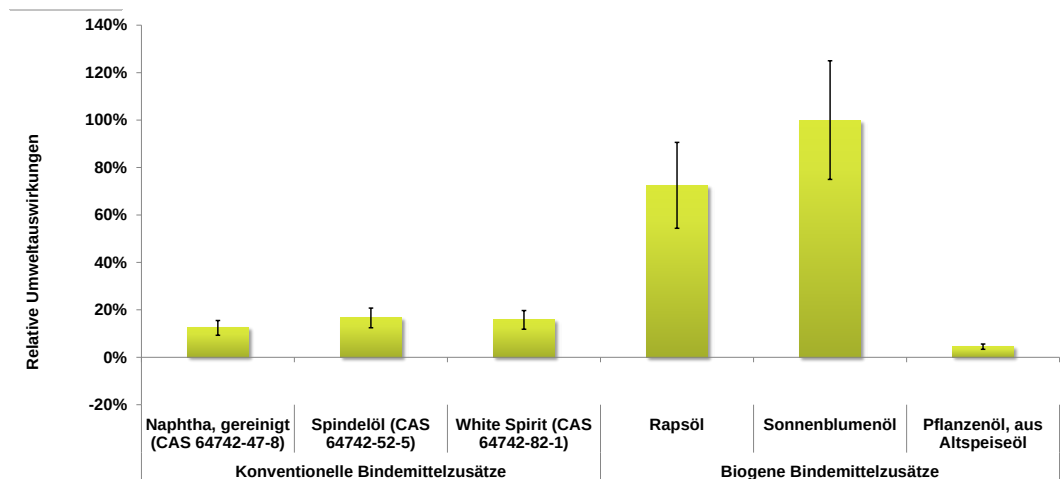


Abb. 9 Vergleich konventionelle und biogene Bindemittelzusätze (nur Herstellung), Bewertung mittels der Methode der ökologischen Knappheit 2006. Die Balken geben 95% Konfidenzintervalle an.

Obige Abbildung 9 zeigt, dass die untersuchten biogenen Bindemittelzusätze aus landwirtschaftlicher Produktion keine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Produkten sind. Die Bewertung zeigt eine wesentlich höhere Belastung der biogenen Bindemittel aus landwirtschaftlichem Anbau im Vergleich zu den konventionellen Bindemittelzusätzen. Dem gegen-über zeigt der biogene Bindemittelzusatz Pflanzenöl aus Altspeiseöl die ge-

ringsten Umwelt-auswirkungen. Der Grund dafür ist, dass es sich beim Rohstoff um einen Abfall (Altspeiseöl) handelt.

Um die beobachteten Unterschiede detaillierter darzustellen, werden im Folgenden jeweils konventionelle Bindemittelzusätze mit einem biogenen Öl⁴ verglichen und diskutiert. Die konventionellen Inhaltsstoffe sind Spindelöl, das denen im Bitumen vorhandenen oder zugesetzten Ölen ähnelt, gereinigtes Naphtha sowie White Spirit, gängige Lösungsmittelzusätze für Kaltmischgut und Spritzbindemittel. Als Vergleichsgrösse werden zusätzlich jeweils die Auswirkungen von Bitumen ausgewiesen. Für diese Vergleiche wird, wie oben erläutert, jeweils die Methode der ökologischen Knappheit angewandt.

Aus Abbildung 10 wird deutlich, dass der Grossteil der Unterschiede aus den Landwirtschaftlichen Prozessen resultiert:

- Schwermetallemissionen in den Boden
- Nitrat- und Phosphatauswaschungen ins Grundwasser / Oberflächengewässer
- Anwendungen von Pestiziden

Die aus diesen Emissionen resultierenden Effekte (toxisch, ökotoxisch, überdüngend etc.) führen dazu, dass die betrachteten biogenen Bindemittelzusätze bezüglich der Umweltauswirkungen häufig schlechter abschneiden als die konventionellen Öle wie hier Spindelöl.

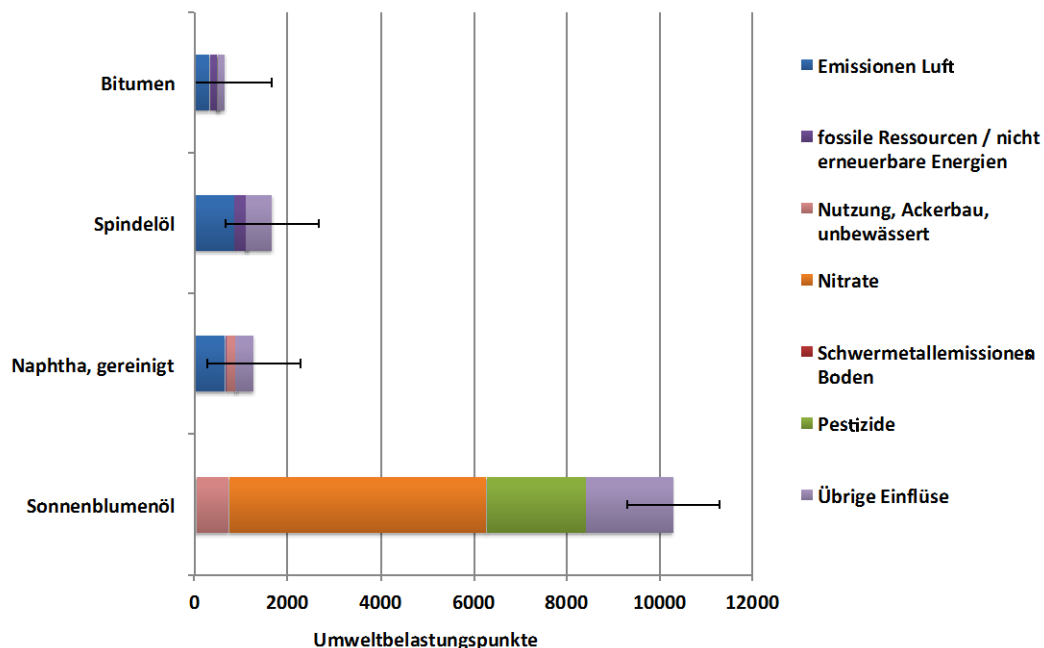


Abb. 10 Vergleich der Herstellung: konventionelles Spindelöl und gereinigtes Naphtha mit Sonnenblumenöl, Bewertung mittels der Methode der ökologischen Knappheit 2006. Die Balken geben 95% Konfidenzintervalle an.

Bindemittelzusätze, welche leichtflüchtige Verbindungen enthalten, können beim Einbau, das heisst bei der eigentlichen Anwendung, erhebliche VOC-Emissionen freisetzen. Diese haben einen wesentlichen Einfluss auf die Ozonbildung sowie teilweise auf die menschliche Gesundheit. Entsprechend haben diese Emissionen einen signifikanten Einfluss auf die Resultate der Methode der ökologischen Knappheit, und können die entsprechenden Beurteilungen stark beeinflussen. Diese Effekte werden bei der Diskussion der Resultate im folgenden Abschnitt deutlich, in denen die tatsächlichen Anwendungen, das heisst Bindemittel sowie deren Zusätze inklusive Einbau, betrachtet werden.

⁴ Verwendet wurde Sonnenblumenöl, da sich dieses gemäss Herstellerangabe technisch sehr gut eignet, siehe Kapitel 2.2.2

6.1.4 Bindemittel mit und ohne biogene Zusätze

Um den Einfluss des Einsatzes von biogenen Ölen in den fünf identifizierten relevanten Anwendungen darzustellen, wurden diese gemäss folgender Tabelle 12 modelliert und an schliessend berechnet. Die Angabe stammen aus den Interviews (Anhang I.1).

Tab. 12 Untersuchte Bindemittel. Bei der Anwendung Verjüngungsmittel wird das resultierende Bindemittel betrachtet (Recyclingbindemittel+ Verjüngungsmittel)

	Anteil Bio-Öl im Bindemittel [%]	Ersetzt
Kaltemischgut	17	22% White Spirit (CAS-Nr. 64742-82-1)
Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung	6	3% gereinigtes Naphtha (CAS 64742-47-8), 5% Spindelöl
Emulsion für Oberflächenbehandlung	1	Gleiche Menge Spindelöl
Farbloses Bitumen ⁵	90	Gleiche Menge Spindelöl
Verjüngungsmittel für Recycling	10	Gleiche Menge Spindelöl

Neben der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit werden ebenfalls die Auswirkungen auf das Klima separat dargestellt, da dieses Thema heute sehr aktuell ist. Oft werden Produkte aus biogenen Rohstoffen als ökologisch beworben, mit der Begründung, dass sie keine oder eine geringere Auswirkung auf das Klima haben.

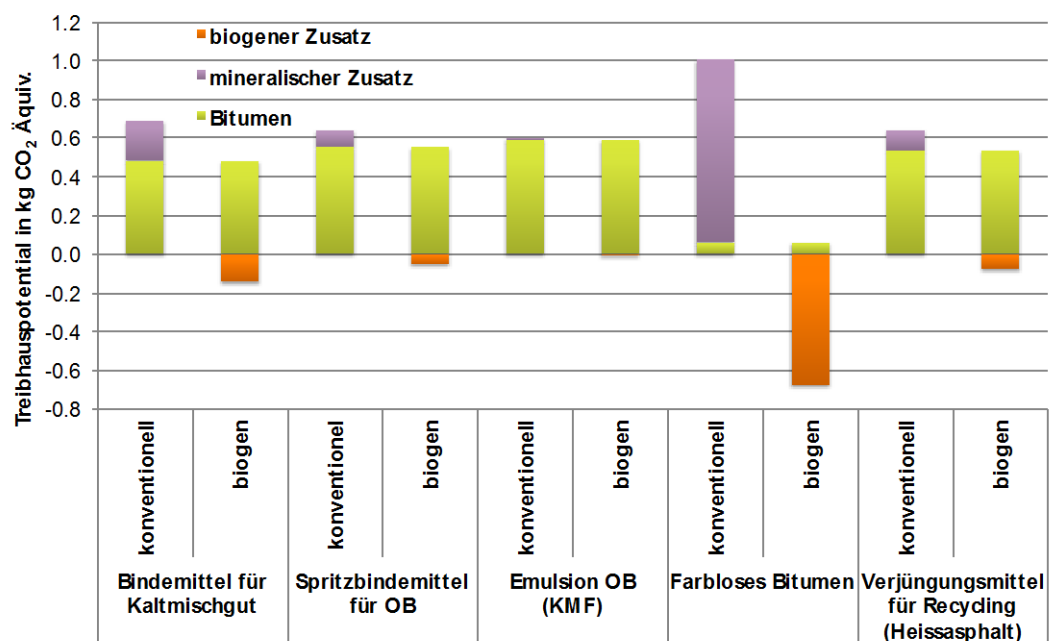


Abb. 11 Vergleich Bindemittel pro kg, Bewertung nach IPCC 2007

⁵ Farbloser Bitumen enthält neben 90% Ölen 10% Kohlenwasserstoffharze. Da keine Angaben zu diesen Harzen vorlagen, wurden dafür Ökobilanzdaten von Bitumen verwendet. Auch wenn anzunehmen ist, dass es Unterschiede bezüglich der Umweltauswirkungen dieser beiden Produkte gibt, so haben diese keinen Einfluss auf die zentrale Fragestellung, ob es aus ökologischer Sicht sinnvoll ist biogene Öle einzusetzen. Aus diesen Gründen ist diese Annäherung zulässig.

Treibhauspotential nach IPCC 2007

Abbildung 11 zeigt den Vergleich der untersuchten Bindemittel mit den jeweiligen Zusätzen bezüglich ihres Potentials zur Klimaveränderung gemäss IPCC 2007. Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass ein signifikanter Anteil der Belastungen aus der Herstellung von Bitumen resultiert. Das ist auch der Grund, warum alle Bindemittel, welche im Wesentlichen aus Bitumen bestehen, vergleichbare Auswirkungen auf das Klima ausweisen. Jedoch zeigt es sich auch, dass die biogenen Bindemittelzusätze zu einer Reduktion der Klimabelastung führen. Der wesentliche Grund dafür ist die Aufnahme von CO₂ während der Wachstumsphase der Ölpflanzen.

Methode der ökologischen Knappheit 2006

Ein ganz anderes Bild zeigt sich mittels der Bewertungsmethode der ökologischen Knappheit. Bei dieser vollaggregierenden Methode kommen, wie unter Abschnitt 3.4 erläutert, neben den Auswirkungen auf das Klima noch verschiedene weitere Effekte hinzu. Hier wird insbesondere der Einfluss der Landwirtschaft bei der Bewertung deutlich (Abbildung 12). In Bezug auf die Landwirtschaft sind insbesondere die zusätzlichen überdüngenden, toxischen oder ökotoxischen Effekte aufgrund verschiedener Emissionen hervorzuheben. Es handelt sich hier in erster Linie um Nitrate ins Wasser, Schwermetalle in den Boden sowie Lachgas in die Luft.

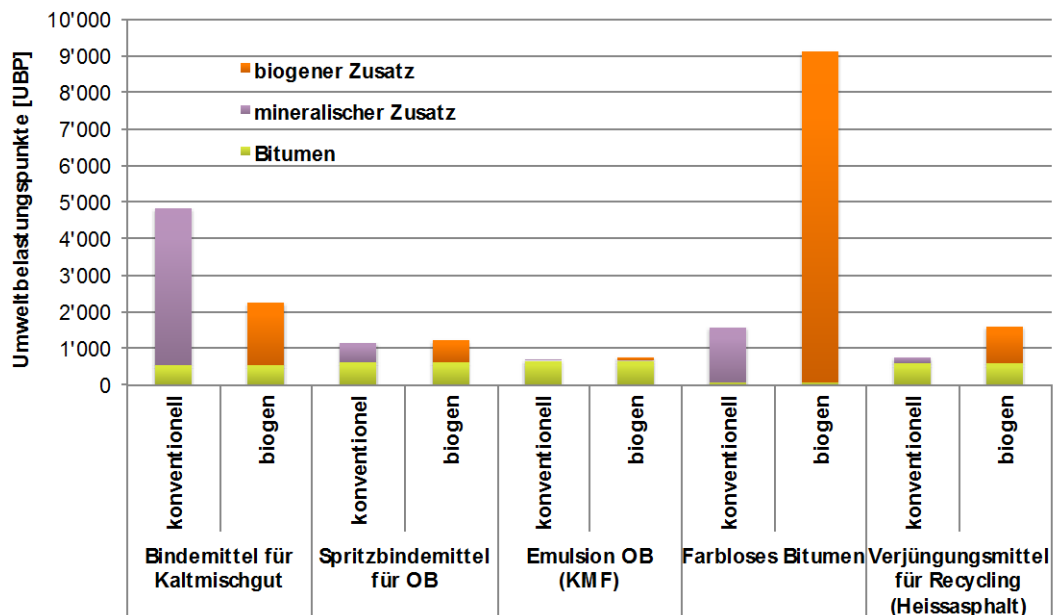


Abb. 12 Vergleich Bindemittel Bewertung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2006

Alle diese Emissionen führen dazu, dass die Auswirkungen bei farblosem Bitumen für den biogenen Zusatz am höchsten ausfallen. Die Umweltauswirkungen der übrigen Anwendungen mit biogenen Zusätzen fallen meist gleich gross oder höher aus, als diejenigen der konventionellen Anwendungen. Eine Ausnahme bildet die Bindemittel für Kaltmischgut; bei diesen zeigt das Bindemittel mit biogenen Zusätzen eine wesentlich geringere Umweltauswirkung als das konventionelle Bindemittel. Der wesentliche Anteil der Umweltauswirkungen beim konventionellen Bindemittel für diese Anwendung resultiert aus den Emissionen des leichtflüchtigen Lösungsmittels, welches zu signifikanten VOC-Emissionen führt (bis zu 80% der Gesamtauswirkungen). Zu beachten ist, dass die VOC Emissionen und die daraus resultierende Ozonbildung mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 stark gewichtet werden. Die Bewertung mittels anderer Methoden wie Eco-Indicator 99, welche die VOC-Emissionen viel schwächer gewichten, führt beim Kaltmischgut zu anderen Resultaten (Abbildung 13). Bei dieser Methode zeigt keines der untersuchten Bindemittel mit biogenen Zusätzen geringere Umweltauswirkungen als die entsprechenden konventionellen Bindemittel. Da die VOC-Emissionen und die damit ver-

bundenen Auswirkungen in der Schweiz stattfinden, erachten wir die Resultate der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht u. a. 2008) als aussagekräftiger, da diese Bewertung auf der aktuellen Umweltbelastung in der Schweiz und der Umweltschutzziele der Schweiz beruht. Im europäischen Umfeld könnte die Bewertung mit der Methode Eco-Indicator 99 diesbezüglich aussagekräftiger sein.

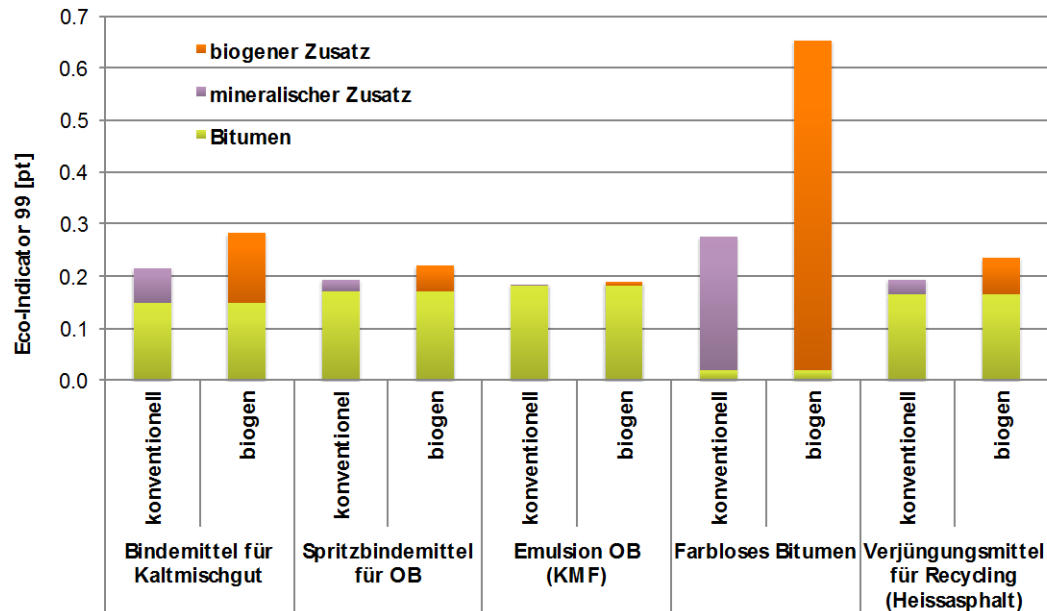


Abb. 13 Vergleich Bindemittel. Bewertung mit Eco-Indicator 99

Die Resultate in Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen zudem folgendes:

- die Berücksichtigung nur eines Indikators wie beispielsweise CO₂ kann zu kurz greifen und ist daher nicht ausreichend für eine aussagekräftige Bewertung.
- Biogene Öle führen nicht per se zu einer Reduktion der Umweltauswirkungen. Ganz im Gegenteil können sie zu einer Erhöhung der Umweltauswirkungen führen.
- Ein Zusatznutzen wie die Reduktion der VOC-Emissionen kann zu einem signifikanten Vorteil der biogenen Öle führen.

Im nächsten Kapitel werden daher Möglichkeiten untersucht die Umweltauswirkungen von biogenen Zusatzmitteln zu reduzieren.

6.2 Mögliche Optimierung

Wie sich gezeigt hat, ist bei den biogenen Ölen insbesondere der Anbau von Bedeutung, weshalb mögliche Verbesserungen insbesondere in diesem Bereich sinnvoll erscheinen. Aus diesem Grund wird im folgenden Abschnitt untersucht, ob mit einer schonenden Landwirtschaft nach den Richtlinien des Biolandbaus, eine relevante Reduktion der Umweltauswirkungen erreicht werden kann.

Um die Auswirkungen des Anbaus selbst zu reduzieren oder ganz auszuschliessen sind zudem Anwendungen aus alternativen Quellen wie biogenen Abfallstoffen denkbar, weshalb zusätzlich die Verwendung von Altspeiseöl im Vergleich zu den anderen Produkten untersucht wurde.

6.2.1 Ökologischer Anbau von biogenen Ölen

Der Einfluss einer ökologischeren Anbauweise von Ölpflanzen wurde anhand von Bio-Raps untersucht. In erster Linie wurde abgeklärt, ob sich relevante Reduktionen der Umweltauswirkungen durch einen ökologischeren Anbau ergeben können.

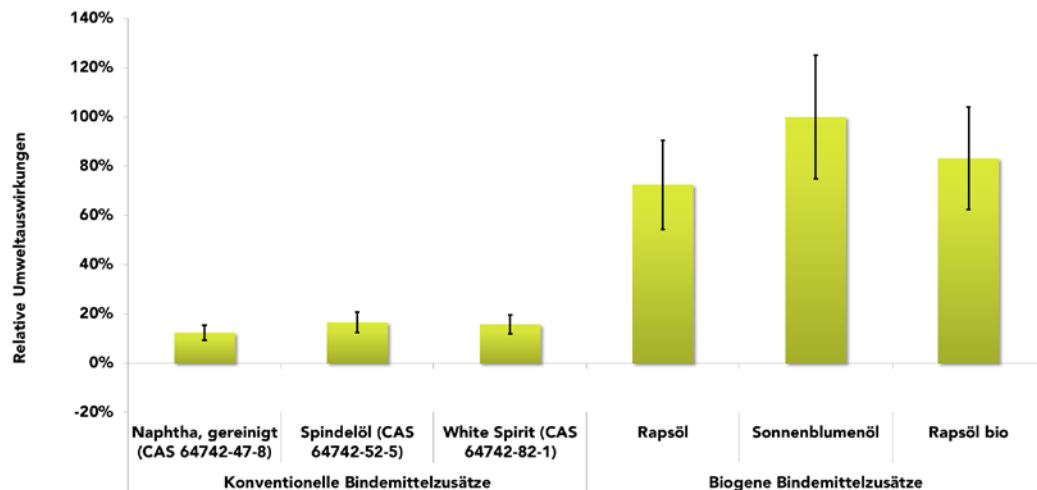


Abb. 14 Vergleich der Umweltauswirkungen bei der Herstellung von konventionellen und biogenen Bindemittelzusätzen mit verschiedenen Anbaumethoden, Bewertung mittels ökologischer Knappheit 2006. Die Balken geben 95% Konfidenzintervalle an.

Aus Abbildung 14 wird erkennbar, dass ein Anbau von Raps nach Bio-Richtlinien (Suisse 2013; Suisse 2013; Suisse 2012) zu vergleichbaren Umweltauswirkungen führt, wie der Anbau von Raps nach IP-Richtlinien. Zudem sind die Umwelt Auswirkungen von Rapsölen vergleichbar mit denjenigen von Sonnenblumenöl.

6.2.2 Altspeiseöl

Als weitere Optimierung wurde untersucht, ob allenfalls durch die Verwendung von alternativen Ölen anstelle von Raps und Sonnenblumen geringere Umweltauswirkungen resultieren. Exemplarisch wurde hierzu Pflanzenöl aus Altspeiseöl berechnet.

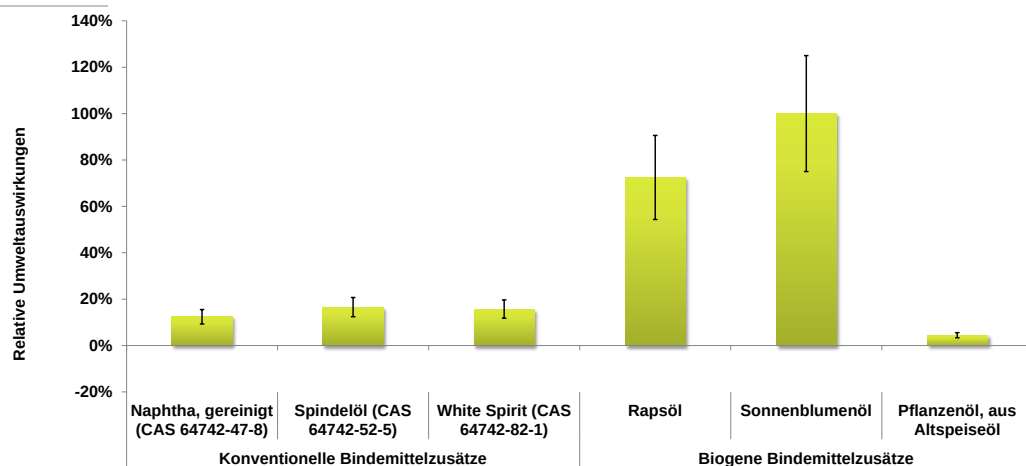


Abb. 15 Vergleich konventionelle und biogene Bindemittelzusätze, Bewertung mittels ökologischer Knappheit 2006. Die Balken geben 95% Konfidenzintervalle an.

Abbildung 15 zeigt deutlich, dass Bindemittelzusätze aus biogenen Ölen, welche aus Abfällen hergestellt werden (Altspeiseöl) wesentlich geringere Auswirkungen als die anderen untersuchten Produkte aufweisen. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass Speiseöl zu Ernährungszwecken, z.B. zum Frittieren, hergestellt wird. Entsprechend werden in der Ökobilanzierung die Umweltbelastung des Anbaus und der Herstellung des Öls dem Speiseöl belastet. Bei der Verwertung des Altspeiseöls z.B. als Bindemittelzusatz handelt es sich um einen zusätzlichen Nutzen, entsprechend werden dafür nur die zusätzlichen Aufwände für Logistik und Aufarbeitung belastet.

6.3 Relevanz biogener Öle im gesamten Strassenbau

Wie in Abschnitt 5.3 gezeigt, weist die Verwendung von biogenen Ölen in den meisten Fällen im direkten Vergleich mit konventionellen Ölen keinen signifikanten ökologischen Vorteil auf.

Da aber alleine in Europa pro Jahr rund 18 Millionen Tonnen Bitumen im Strassenbau verbaut werden, wird im Folgenden die Relevanz der Bindemittel im Verhältnis zum gesamten Strassenbau abgeschätzt.

6.3.1 Komplette Strassenabschnitte

Bis jetzt wurden jeweils ausschliesslich Bindemittelzusätze und damit hergestellte und Bindemittel analysiert. Um den Anteil des Umwelteinflusses des Bindemittels auf einen kompletten Strassenabschnitt zu eruieren, wurden zwei verschiedene Strassentypen mit unterschiedlichem Bitumengehalt modelliert und einander gegenübergestellt. Die Zusammensetzungen der wesentlichen Komponenten dieser Strassentypen sind in Tabelle 13 dargestellt. Im Unterschied zu früher, werden nicht nur die Produktion, sondern auch die Konstruktion und der Unterhalt berücksichtigt.

Tab.13 Zusammensetzung Strassentypen

Material in kg / Tonne	Frisch-Bitumen	Recyclat	Sand	Kies
Typ mit 1.7 % Frisch-Bitumen	17.1	493	301	189
Typ mit 3.6% Frisch-Bitumen	36.3	396	280	288

Die Umweltauswirkungen gemessen in UBP dieser zwei typischen Strassenaufbauten sind in Abbildung 16 dargestellt. Obwohl Bitumen nur ca. 1 – 5 Masseprozent einer Strasse ausmacht, kann er bis zu 30 % zur Gesamtumweltbelastung beitragen.

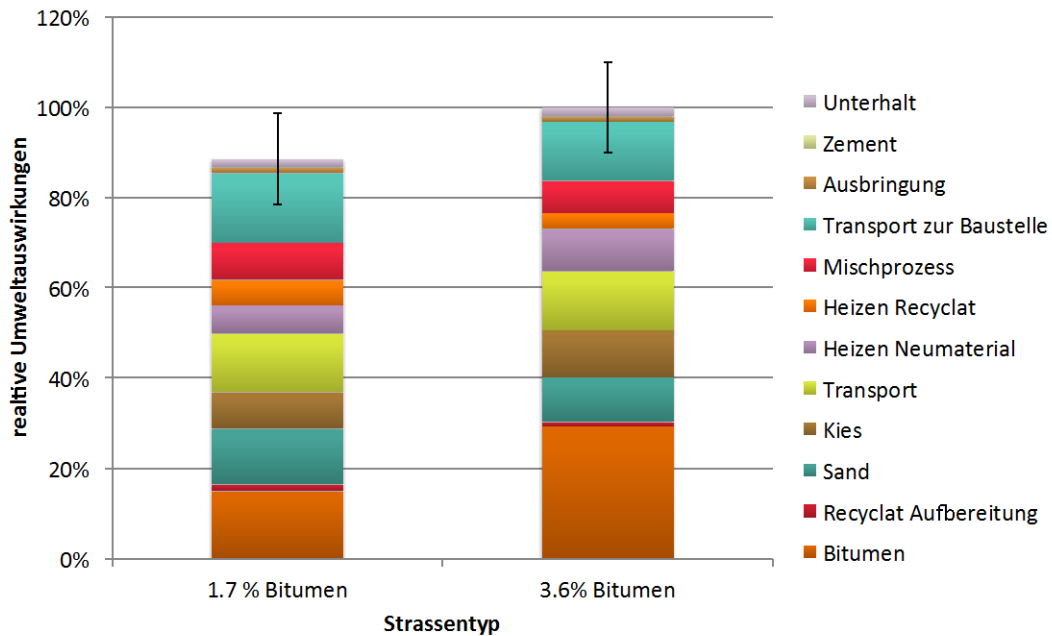


Abb. 16 Darstellung der Umweltauswirkungen von zwei Strassentypen mit unterschiedlichem Aufbau mittels der Methode der ökologischen Knappheit 2006, siehe Tabelle 13. Die Balken geben 95% Konfidenzintervalle an.

Bindemittel können einen beträchtlichen Teil zur gesamten Umweltauswirkung einer Strasse beitragen. Für die Berechnungen in Abbildung 16 wurde als Bindemittel Bitumen verwendet. Für das verwendete Rezyklat wurden nur die Aufwände für die Aufarbeitung berücksichtigt. In dieser Arbeit hat es sich gezeigt, dass die verwendeten Zusätze teilweise wesentlich höhere Umweltauswirkungen verursachen als das Bitumen selber, siehe Abbildung 10. Entsprechend kann der Einfluss der Bindemittel je nach Art des Zusatzes noch relevanter sein. Im Hinblick auf die gesamte Menge an verbauten Strassenbelägen ist es daher durchaus sinnvoll die verwendeten Bindemittel und deren Zusätze auch aus ökologischer Sicht zu evaluieren. Dabei dürfen nicht vereinfachte Sichtweisen, wie biogen ist umweltfreundlich oder Reduktion der Klimabelastung ist gleich ökologisch, verwendet werden, da dies zu falschen Schlüssen führen kann.

6.3.2 Bezogen auf die Landwirtschaftsfläche der Schweiz

Auch wenn die biogenen Öle als Bindemittelzusätze in der Gesamtmasse der Strasse nur einen kleinen Teil ausmachen, so kann die Betrachtung aufgrund der grossen Tonnage an verbauten und wiederverwerteten Strassen relevant werden. Wie unter Abschnitt 2.2.1 hergeleitet liegt das Potential für Biogene Öle bei rund 120'000 Tonnen für Europa oder für die Schweiz bei knapp 3'700 Tonnen pro Jahr.

Um diese Menge an Öl mit Hilfe von entsprechenden Ölpflanzen wie Raps, Sonnenblumen oder Soja zu produzieren, wird ungefähr eine Anbaufläche von 3'000 ha benötigt⁶. Die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche Schweiz beträgt laut (BfS 2013) rund 1'050'000 ha wo-bei die nutzbaren Ackerflächen allerdings nur ca. 270'000 ha betragen.

Würden die fossilen Bindemittelzusätze mit biogenen Ersatzprodukten ersetzt werden, so müssten in der Schweiz daher über 1% der Ackerfläche beansprucht werden. Diese Fläche stünde dann für die Nahrungsmittelproduktion nicht mehr zur Verfügung und müsste über entsprechende Importe kompensiert werden. Wollte man den gleichen prozentualen Anteil an Bindemittelzusätzen für Europa bereitstellen, so müsste eine Fläche, welche etwa zwei Drittel der gesamten nutzbaren Ackerfläche der Schweiz entspricht, für Bio-Öle bereitgestellt werden.

⁶ 2.6t Pflanzen / ha mit 45 – 50% Öl Anteil [vgl. Kartoffel: ca. 40t / ha]

7 Öko-Effizienz

Das Konzept der Öko-Effizienz-Bewertung soll aufzeigen, welche Optionen sowohl aus ökonomischer wie auch aus ökologischer Sicht optimal sind. Dabei werden im Allgemeinen die-se beiden Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung gleich gewichtet.

7.1 Ökonomische Grundlagen

Um Aussagen zur Öko-Effizienz machen zu können, werden nebst den Umweltauswirkungen auch die Kosten der Systeme und Prozesse benötigt. In folgender Tabelle 14 werden die wichtigsten Kostenpunkte aufgelistet:

Tab.14 Ökonomische Grunddaten, pro Kilogramm

Bindemittel	Rohstoffpreis CHF/kg	Quelle / Bemerkungen
White Spirit, CAS-Nr. 64742-82-1	1.00 (+ 3.00)	Grisard Bitumen, 12.2013 (+ VOC-Abgabe)
Gereinigtes Naphtha, hochsiedend (z.B. Shellsol D100), CAS-Nr. 64742-47-8: mit Wasserstoff behandelte leichte Erdöl-Destillate	1.60	Grisard Bitumen 12.2013
Spindelöl, CAS-Nr. 64742-52-5	0.70	CTW / Spindelöl 700 CHF / t
Rapsöl	1.17	Periode 092011-042012 Thywissen, Herr Oehl 17.8.2011; Rapsöl 950 Euro / t
Sonnenblumenöl	1.17	Schätzung analog zu Soja
Bitumen	0.55	Grisard Bitumen, 12.2013

7.2 Definition Öko-Effizienz

Es gibt verschiedene Arten die Öko-Effizienz darzustellen. In der vorliegenden Studie wird zur Darstellung der Ergebnisse ein Säulendiagramm angewandt, da diese eine übersichtliche Darstellung aller Anwendungen in einer Grafik ermöglicht. Für diese Darstellungsart ist es notwendig einen Indikator zu berechnen, welcher die Öko-Effizienz darstellt. Es gibt verschiedene Arten diesen Indikator zu berechnen, welche im Wesentlichen auf den folgenden beiden Grundlagen beruhen:

- Ökonomie und Ökologie werden gleich gewichtet
- Je höher der Indikator Wert desto gewünschter ist der Zustand

Die Berechnung der Öko-Effizienz hängt davon ab, aus welcher Sichtweise sie betrachtet wird. Die verbreitetste Sicht ist wohl die des Unternehmers, da die Öko-Effizienz vom World Business Council of Sustainable Development eingeführt wurde. Dabei werden als ökonomische Indikatoren meistens der wirtschaftliche Wert des Produktes, der Preis oder die Wertschöpfung in einem Unternehmen verwendet. Wobei der Preis auch ein Mass für den Wert beziehungsweise für die sonst schwer schätzbare Qualität darstellt. Die Öko-Effizienz wird in diesem Fall definiert als Quotient des ökonomischen Werts bzw. der Wertschöpfung und der Umweltauswirkung (Gleichung 4).

$$\text{Öko-Effizienz} = \frac{\text{Wirtschaftlicher Wert}}{\text{Umweltauswirkungen}} \quad \text{Gleichung (4)}$$

Wenn die Qualität bekannt und unter den Alternativen konstant ist, müssen die Preise nicht als Mass des Wertes herangezogen werden. In diesem Fall sind aus Sicht des Kunden hohe Kosten negativ zu werten und die Öko-Effizienz wird als reziprokes Produkt der Umweltauswirkungen und der Kosten definiert.

$$\text{Öko-Effizienz} = \frac{1}{\text{Umweltauswirkungen} \times \text{Kosten}} \quad \text{Gleichung (5)}$$

Für die Betrachtungen in dieser Studie ist die Qualität der Alternativen gleich und das Zielpublikum sind die Anwender der Bindemittel, daher wird die Definition der Öko-Effizienz aus Sicht des Kunden nach Gleichung 5 verwendet.

7.3 Resultate Öko-Effizienz

Im Folgenden wird die Öko-Effizienz, aufgeteilt nach Anwendungen, bewertet und gemeinsam dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass jeweils nur die Produkte innerhalb derselben Anwendung miteinander verglichen werden können. Ein Vergleich der Anwendungen untereinander ist nicht sinnvoll, da diese unterschiedliche Funktionen erfüllen.

Die Darstellung in Abbildung 17 zeigt, dass:

- bei zwei Anwendungen die konventionellen Produkte im Rahmen der Unsicherheiten eine vergleichbare Öko-Effizienz aufweisen wie diejenigen mit biogenen Zusätzen,
- bei zwei Anwendungen die Öko-Effizienz der konventionellen Produkte signifikant besser ist als diejenige mit biogenen Zusätzen
- nur bei einer Anwendung, Kaltmischgut, das Produkt mit den biogenen Zusätzen eine bessere Öko-Effizienz aufweist als das konventionelle Produkt.

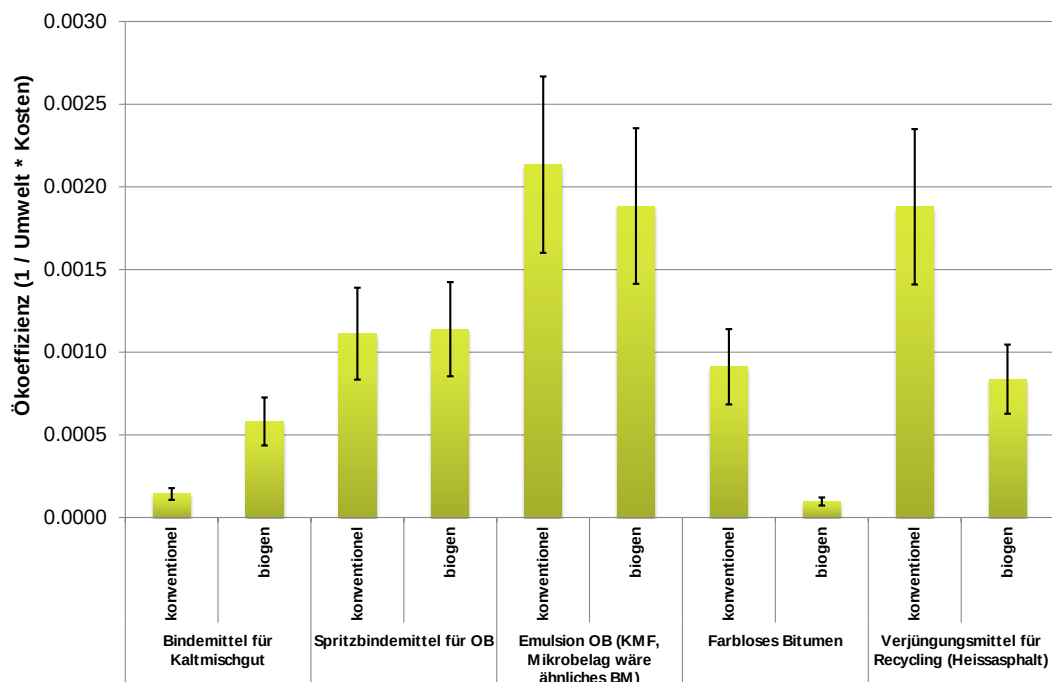


Abb. 17 Säulendarstellung der Öko-Effizienz; Umweltauswirkungen nach der Methode der ökologischen Knappheit 2006. Die Balken geben 95% Konfidenzintervalle an.

Der Grund dafür, dass die meisten Bindemittel mit biogenen Zusätzen nicht besser als die konventionellen Bindemittel abschneiden, ergibt sich vor allem auf Grund der höheren Umweltauswirkungen der betreffenden biogenen Zusätze.

Dagegen weist Kaltmischgut in der konventionellen Anwendung eine deutlich schlechtere Öko-Effizienz als die biogene Alternative auf. Dieser Umstand ist in erster Linie auf die starke Gewichtung der VOC-Emissionen bei der angewendeten Methode der ökologischen Knappheit sowie die anfallende VOC-Abgabe bei dieser Anwendung zurückzuführen. Dies ist im Einklang mit der Schweizer Rechtslage, welche die Emissionen von VOC als lokales Problem ansieht und daher die entsprechenden Vorgaben vorsieht und die entsprechenden finanziellen Steuerungsinstrumente anwendet.

Aus der Öko-Effizienz Analyse wird ebenso ersichtlich, dass die biogenen Zusätze mit einer Ausnahme (Kaltmischgut) keine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Zusätzen sind. Bei allen anderen untersuchten Anwendungen zeigen die Produkte mit biogenen Zusätzen ein vergleichbares oder sogar wesentlich schlechteres Ergebnis.

8 Diskussion und Schlussfolgerung

8.1 Vergleich zu bisherigen LCA Resultaten

Vergleichbare Ökobilanzen haben bereits früher ebenfalls gezeigt, dass biogene Ersatzstoffe in anderen Anwendungen nicht zwingend ökologisch besser abschneiden, als fossile Vergleichsprodukte (Emmenegger u. a. 2012; Zah u. a. 2007). Auch die vorliegende Studie konnte für die meisten biogenen Zusatzstoffe keinen zusätzlichen Nutzen feststellen, welcher die Anwendung aus ökologischen Gründen empfehlenswerter machen würde als die Verwendung herkömmlicher Zusatzstoffe.

8.2 Optimierungspotentiale

Eine Verbesserung der ökologischen Bilanz durch den Einsatz von biogenen Zusätzen kann erreicht werden:

- Durch die Anwendung von Ölen aus Reststoffen wie Altspeiseöl sowie
- Falls sich durch den Einsatz der biogenen Zusätze ein zusätzlicher Nutzen ergibt, wie die Reduktion oder das Ausbleiben von VOC-Emissionen bei der Ausbringung der Anwendungen.

Sollte das Explosionsrisiko bei der Anwendung der fossilen Zusätze in Form von Bindemitteln ein erhebliches Risiko darstellen, so könnten sich auch in diesem Bereich Vorteile für die biogenen Zusätze ergeben und weitere Anstrengungen in diesem Bereich könnten sinnvoll sein.

Des Weiteren ist denkbar, dass die Einsparung oder die Vermeidung von VOC-Dämpfen (durch biogene Öle) beim Einbau der Beläge zu einer Reduktion sowohl der Ökotoxizität als auch der Humantoxizität führen kann. Dieser Aspekt wurde aktuell nicht quantifiziert und kann daher nicht abschliessend beurteilt werden.

8.3 Empfehlungen

Aufgrund der Resultate dieser Studie können aus ökologischen Gründen biogene Bindemittelzusätze nicht allgemein empfohlen werden. Empfohlen werden können sie nur, wenn zumindest eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Die biogenen Zusätze sind aus Abfall-Biomasse, wie zum Beispiel Altspeiseöl, hergestellt.
- Die biogenen Zusätze erfüllen einen zusätzlichen Nutzen, wie beispielsweise die Reduktion von VOC-Emissionen bei Kaltmischgut.

Alle anderen untersuchten biogenen Zusatzstoffe führten zu höheren Umweltauswirkungen als entsprechende konventionelle Bindemittelzusätze.

Weitere Aspekte wie die verminderte Explosionsgefahr wurden unter anderem auf Grund der Datenlage nicht untersucht, weshalb hierzu keine Empfehlungen gemacht werden können.

8.4 Forschungsbedarf

Die wesentlichen Forschungsfragen, ob die verwendeten biogenen Bindemittelzusätze einen ökologischen Vorteil gegenüber fossilen Zusätzen bieten und woher die Umweltauswirkungen resultieren, konnte für die heute verwendeten biogenen Zusätze aus landwirtschaftlichem Anbau weitgehend beantwortet werden. Entsprechend erachten wir diesbezüglich weitere Abklärungen nur begrenzt als sinnvoll. Jedoch haben die Untersuchungen verschiedene Erkenntnisse gebracht, welche weitergehende Fragen aufgeworfen haben.

Es hat sich gezeigt, dass biogene Zusätze dann einen ökologischen Vorteil haben können, wenn sie einen zusätzlichen Nutzen aufweisen, der über den biogenen Ursprung hinausgeht. Die entsprechende Fragestellung hierzu könnte sein:

Welche zusätzliche Nutzen können biogene Bindemittelzusätze aufweisen, welche dazu führen können, dass die gesamten Umweltauswirkungen dadurch geringer werden als bei der Anwendung von fossilen Zusätzen?

Oder anders ausgedrückt

Für welche Einsatzgebiete können biogene Bindemittelzusätze einen ökologischen Vorteil aufweisen?

Zur Beantwortung dieser Frage sollen direkte Einflüsse, wie zum Beispiel die Reduktion oder Elimination von VOC Emissionen beim Einbau oder Explosionsrisiko bei der Verarbeitung untersucht werden. Zudem könnten auch indirekte Effekte wie Verbesserungen der Strasseneigenschaften (Lebensdauer, Gebrauchseigenschaften) durch die Nutzung der biogenen Zusätze berücksichtigt werden. Jedoch sollen sich diese Zusatznutzen nicht auf biogene Produkte fokussieren, falls diese Vorteile ebenso mit fossilen Zusätzen erreicht werden können.

Die Analyse eines gesamten Strassenaufbaus in Kapitel 6.3.1 hat gezeigt, dass Bitumen einen relevanten Beitrag zu den gesamten Umweltauswirkungen des Strassenbaus leistet. Daraus könnte die folgende Forschungsfrage abgeleitet werden:

Mit welchen Massnahmen könnten die Umweltauswirkungen des Strassenbaus als gesamtes reduziert werden?

Dabei könnte unter anderem der Einfluss von Recycling Materialien, wie Recycling-Bitumen oder -Kies auf die Gesamt-Auswirkungen des Strassenbaus näher untersucht werden sowie die technische und finanzielle Machbarkeit abgeklärt werden. Dies entspräche auch der Strategie der Ressourceneffizienz des Bundesrates.

Wie schon in anderen Untersuchungen festgestellt, sind Herstellung, Unterhalt und Rückbau von Strassen nur für einen Bruchteil des energetischen Ressourcenbedarfs und der Umweltauswirkungen verantwortlich, welcher der auf den Strassen assoziierte Verkehr benötigt. (Häkkinen und Mäkelä 1996; Mroueh u. a. 2001; Spielmann u. a. 2007; Strippel 2001) Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll Anwendungsgebiete näher zu untersuchen, welche direkten Einfluss auf den Verkehr haben können. Daraus könnte folgende Forschungsfrage formiert werden:

Durch welche Massnahmen im Strassenbau können die Auswirkungen des Verkehrs oder des Betriebes der Strasse reduziert werden?

Dazu sollten Massnahmen untersucht werden, welche zum Beispiel zu geringeren Lärmemissionen führen können. Abrollgeräusche verursachen bereits ab 30km/h mehr Lärm als die Motoren der jeweiligen Autos oder LKWs, weshalb leise Strassenbeläge den Lärm signifikant reduzieren können. Da Strassenlärm ein weit verbreitetes Problem ist, könnten sich entsprechende Abklärungen durchaus lohnen. Es muss allerdings festgehalten werden, dass das Phänomen Lärm innerhalb der Methodik der Ökobilanzen noch nicht abschliessend berücksichtigt wird. Entsprechend wären dazu noch gewisse methodischen Arbeiten notwendig.

Zudem könnten auch Massnahmen, um den Energiebedarf bei der Beleuchtung der Strassen zu reduzieren, bezüglich Aufwand und Nutzen evaluiert werden. Dazu gehören neben neuen Beleuchtungssystemen zum Beispiel auch Farben von Belägen und Tunnelwänden.

Wir empfehlen in einem ersten Schritt mit einer Evaluation die ökologische und ökonomische Relevanz der obigen Forschungsfragen abzuschätzen und auf dieser Basis die wichtigsten Forschungsfragen auszuwählen und genauer zu formulieren. Zu diesem Zweck wäre es sinnvoll eine Methode zu verwenden, welche neben den quantitativen Resultaten der Ökobilanzierung oder der Ökonomie (Bueche 2011) auch qualitative Expertenaussagen zu Machbarkeit oder technischem Nutzen einbeziehen kann. Wir haben diesbezüglich gute Erfahrungen mit dem Einsatz der Fuzzy Set Theorie gemacht, welche genau dies erlaubt. In anderen Studien wurde z.B. die Multikriterienanalyse eingesetzt.

Anhänge

I	Interviews.....	61
II	Berücksichtigung von CO2 in den Berechnungen	62
III	Darstellung der Midpoint-Kategorien nach CML	63
IV	Kennzahlen der Umweltauswirkungen	64
V	Belastungen entlang des Lebenszyklus.....	66
V.1	Konventionelle Bindemittel	66
V.2	Biogenes Bindemittel	66

I Interviews

Viele Informationen zu Märkten und Anwendungen von biogenen Ölen kamen durch Interviews und Mail-Kontakte zusammen. Die Verfasser möchten insbesondere folgende Unternehmen und Kontaktpersonen danken, dass sie ihr Wissen geteilt haben.

Europa

BP, Ludger Vienenkötter

Nynas, Ingo Nösler

Shell, Frank Beer

Total, Nicolas Sierro

Schweiz

Grisard Bitumen, Marc Dalbalcon

Ziegler, Henning Wiese

CTW, Paul Waldvogel

Österreich

Vialit, Johann Bleier

Frankreich

Eiffage, Jean-Claude Vaniscote

Eurovia, Bernard Eckmann

Colas, Jean-Luc Gautier

Niederlande

Latexphalt, Morteza Shirazi

II Berücksichtigung von CO₂ in den Berechnungen

CO₂-Emissionen, welche aufgrund der Verbrennung von biogenen Ölen entstehen, sind zum hauptsächlichen Teil klimaneutral, da die Pflanzen in ihrer Wachstumsphase die entsprechende Menge CO₂ aus der Luft aufgenommen haben, die Aufnahme und Abgabe von CO₂ halten sich sozusagen die Waage.

Um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen stehen prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Alle CO₂-Emissionen, welche biogenen Ursprungs sind, werden bei der Berechnung des Treibhauspotentials nach IPCC nicht berücksichtigt
2. Die Aufnahme von CO₂ während der Wachstumsphase wird einer Pflanze entsprechend als negative Emission angerechnet, die Emissionen bei der Verbrennung werden normal gezählt, das heisst wie bei der Verbrennung von fossilen Rohstoffen.

Um die verschiedenen Entsorgungsmöglichkeiten der Öle offen zu lassen, wurde eine Verbrennung der Öle und damit die Freisetzung des CO₂ nicht berechnet. Da damit aber ein grosser Vorteil der biogenen Öle ausser Acht gelassen wird, wurde die Aufnahme von Kohlenstoff aus der Luft beim Pflanzenwachstum separat berücksichtigt, das heisst es wurde die obige Methode zwei angewandt.

Auf diese Weise kann eine allfällige Entsorgung aller Öle berechnet werden und die CO₂-Emissionen für die biogenen Öle werden mit der Gutschrift beim Wachstum verrechnet. Aus diesem Grund können unterschiedlichste Entsorgungsvarianten problemlos miteinander verglichen werden, ohne dass die Herkunft der Öle (fossil oder biogen) berücksichtigt werden muss, da dies bereits erfolgt ist.

Dieser Ansatz entspricht einer Best-Case Betrachtung für biogene Öle, da damit davon ausgegangen wird, dass diese während der nächsten 100 Jahre nicht verbrannt werden.

III Darstellung der Midpoint-Kategorien nach CML

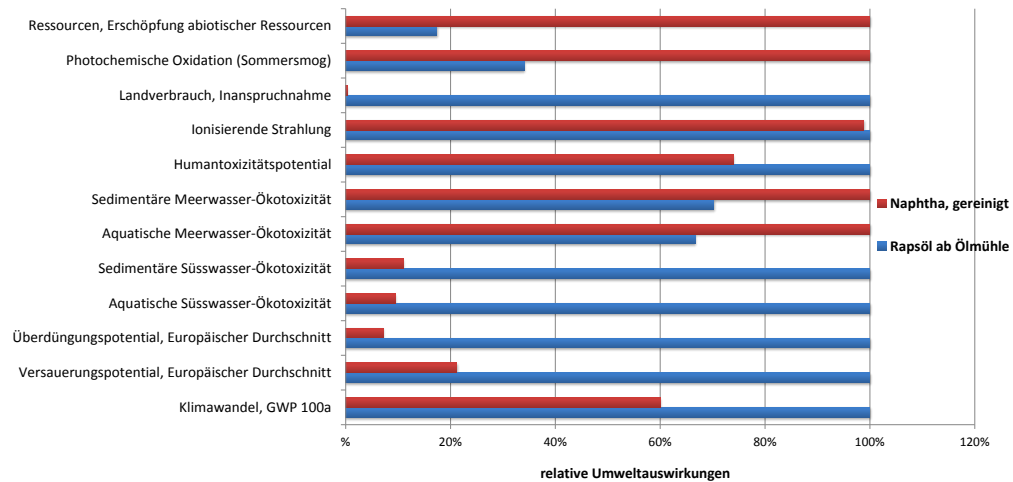


Abb. 1 Midpoint-Kategorien nach CML 2001; gereinigtes Naphtha und Rapsöl

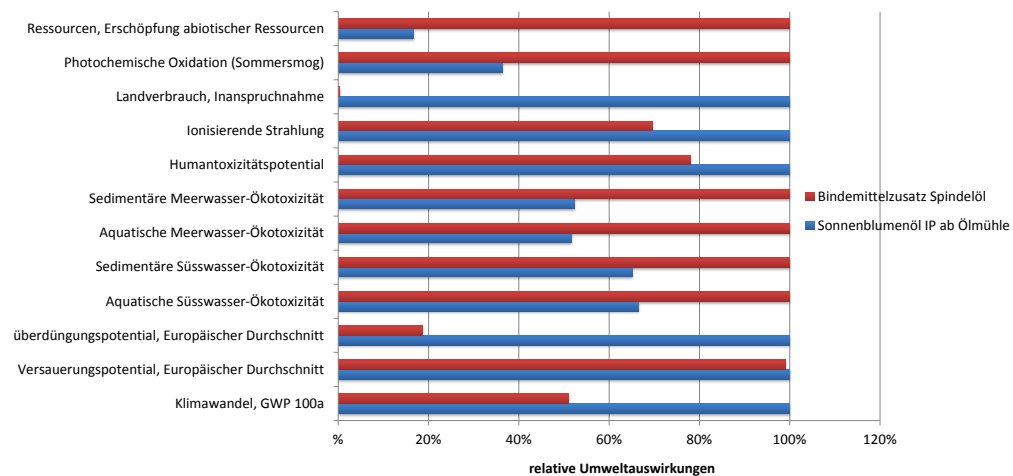


Abb. 2 Midpoint-Kategorien nach (Guinée u. a. 2002); Spindelöl und Sonnenblumenöl

IV Kennzahlen der Umweltauswirkungen

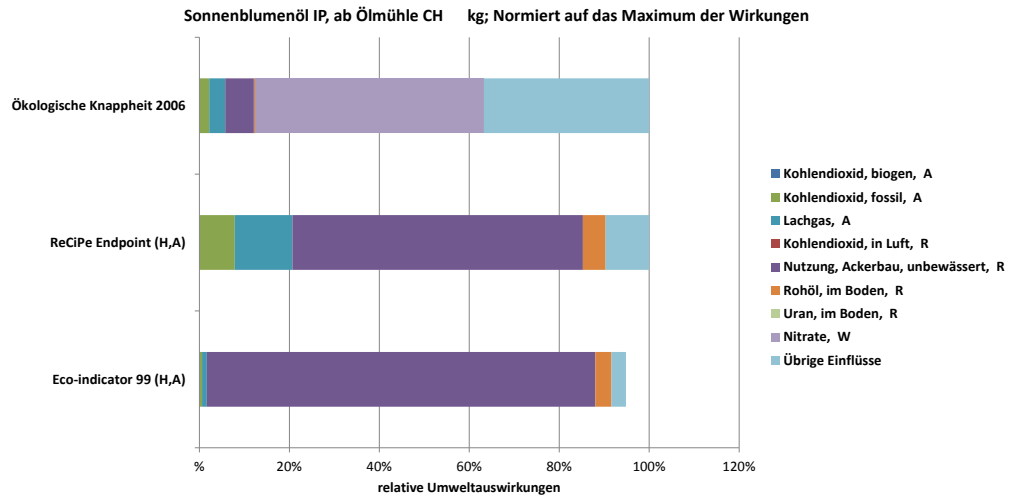


Abb. 3 Auswirkungen bei der Produktion von Sonnenblumenöl

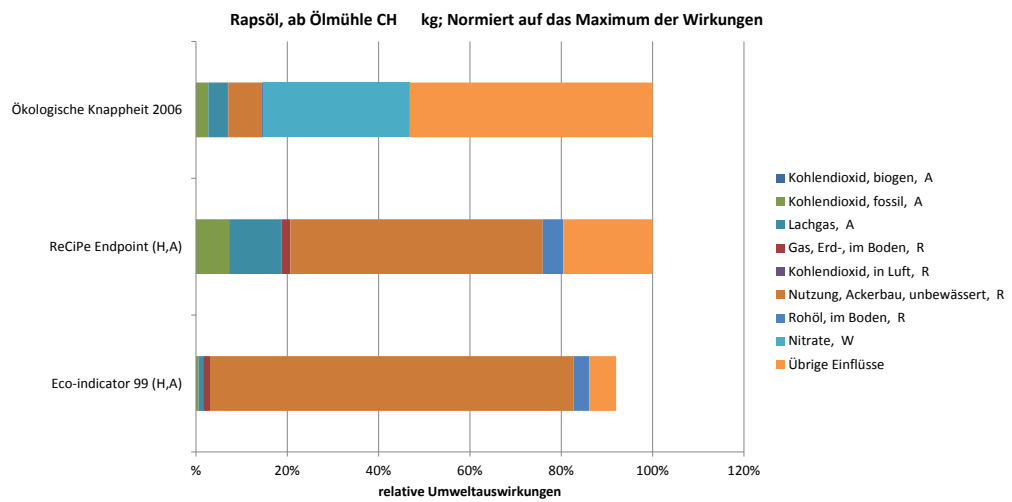


Abb. 4 Auswirkungen bei der Produktion von Rapsöl

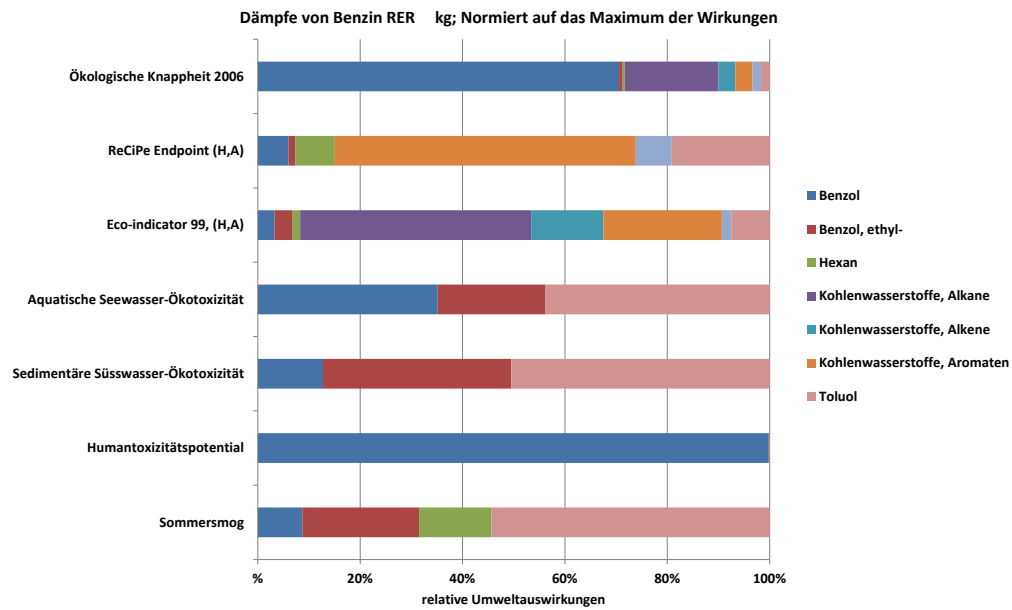


Abb. 5 Dämpfe beim Einbau von Spritzbindemittel

V Belastungen entlang des Lebenszyklus

Dieser Frage wird anhand eines konventionellen BM und eines biogenen Zusatz nachgegangen.

Als konventionelles Bindemittel wird das Spritzbindemittel verwendet. Als biogenen Zusatz wird Rapsöl untersucht.

V.1 Konventionelle Bindemittel

Als konventionelles Bindemittel wird Spritzbindemittel betrachtet.

- Prozessbaum jeweils pro Mittel, eingebaut.
- Beschreiben der relevantesten Prozesse. (Ressourcen + Einbauemissionen)
- Einbauemissionen im Detail darstellen

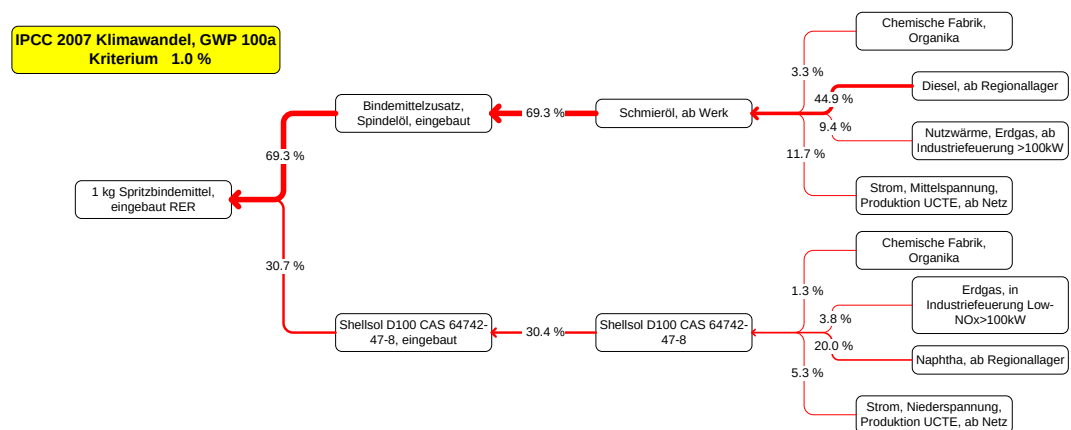


Abb. 6 IPCC2007: Spritzbindemittel: Wesentlich ist die Bereitstellung der fossilen Grundstoffe

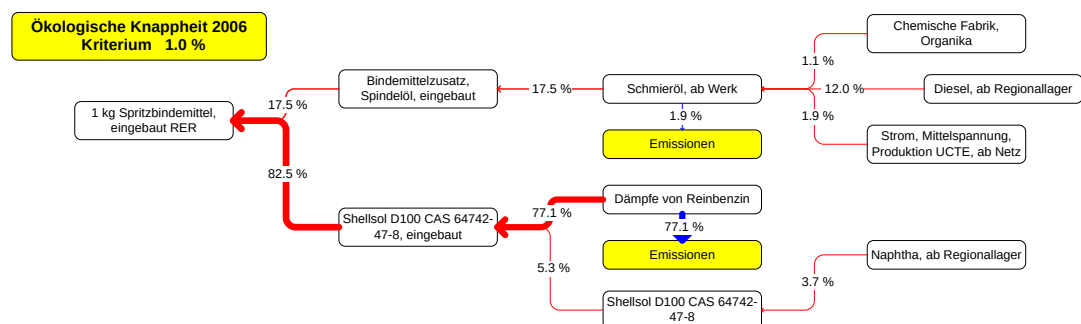


Abb. 7 Methode der ökologischen Knappheit 2006: Spritzbindemittel: Wesentlich sind die Emissionen beim Einbau

V.2 Biogenes Bindemittel

Als biogenes Bindemittel wird Rapsöl dargestellt

- Prozessbaum pro Mittel, eingebaut
- Beschreibung der relevanten Prozesse (Anbau)

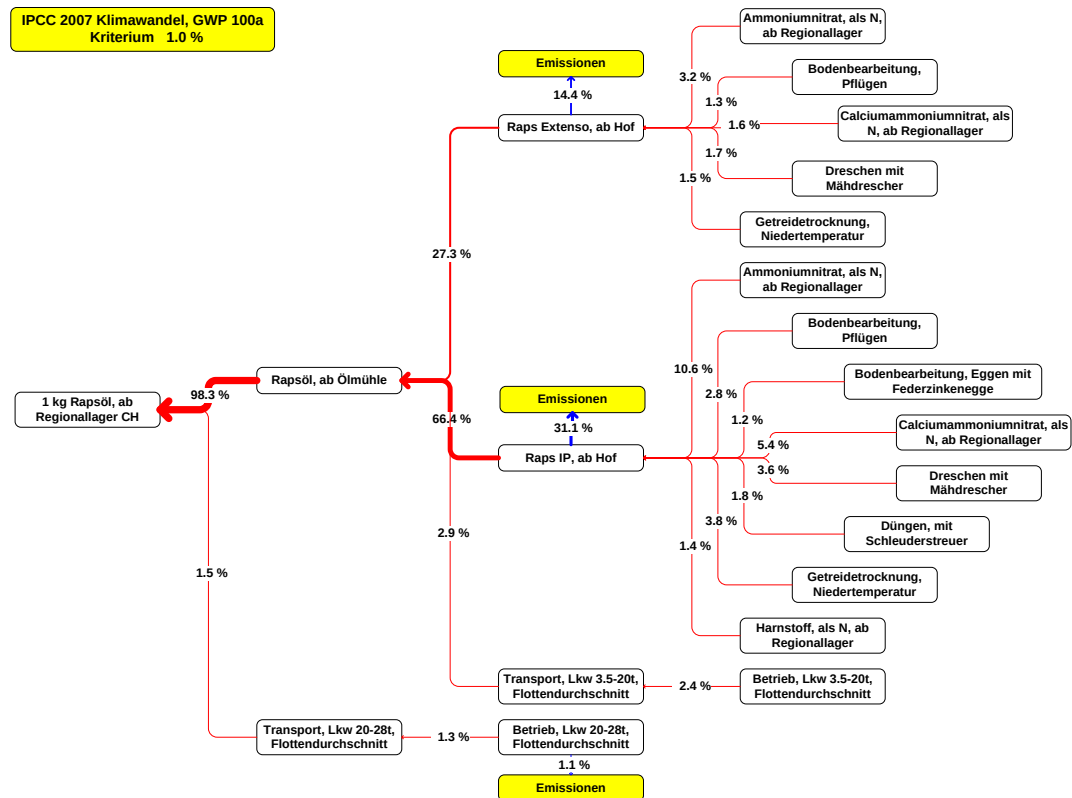


Abb. 8 IPCC2007: Rapsöl: Wesentlich sind die Emissionen beim Einbau und Düngerherstellung

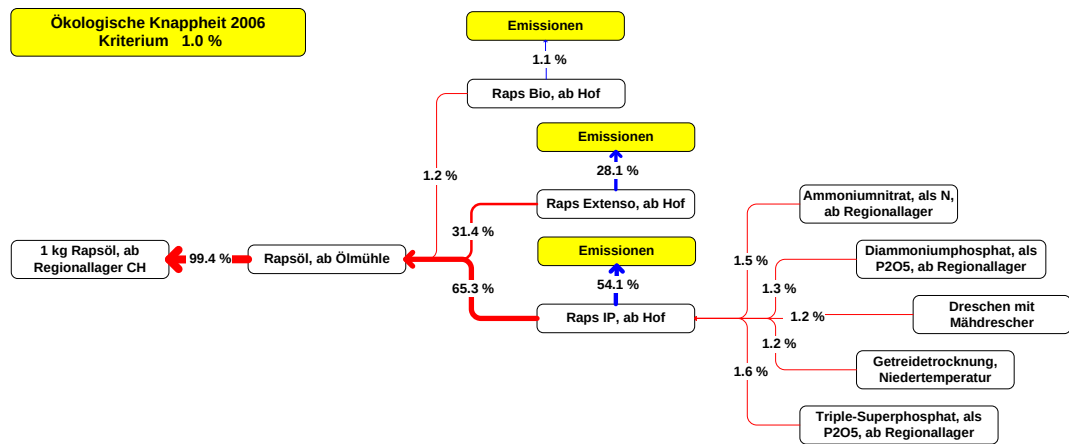


Abb. 9 Methode der ökologischen Knappheit 2006: Rapsöl: Wesentlich sind die Emissionen beim Anbau

Glossar

Begriff	Bedeutung
CML	Centrum voor Milieukunde Leiden
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KW	Kohlenwasserstoffe, z.B. Lösungsmittel
LCA	Life Cycle Assessment = Ökobilanzierung
LCI	Life Cycle Inventory = Ökoinventar
LCIA	Life Cycle Impact Analysis = Bewertung der Umweltauswirkungen
UBP	Umweltbelastungspunkte
VOC	Volatile Organic Compounds – Flüchtige Kohlenwasserstoffverbindungen

Literaturverzeichnis

- Andersen, E., Vasudevan, J., Stoker, D., Hagen, E., Bragstad, R., Lurfald, B.O. (2008) **Road trials with vegetable oil based bitumen in Norway**. *Proceedings of the 4th Euroasphalt and Eurobitume Congress held May 2008, Copenhagen, Denmark*.
- Antoine, J.P., Marcilloux, J. (1999) **Bioflux, Bioflex: une évolution majeure des liants bitumineux de répanage**. *Revue Generale des Routes (RGRA) 1999*.
- Antoine, J.-P., Marcilloux, J. (2005) **Liants anhydres de répanage ou d'enrobage : la route se met au vert : Biolubrifiants et biosolvants**. *Oléagineux, corps gras, lipides, OCL. 12, 304–307*.
- Appia (1999) **Bituminous binder, its composition and its use**.
- Bailey, H.K., S. E. Zoroob, G. (2012)(a) **The use of vegetable oil in asphalt mixtures, in the laboratory and field**. *5th Euroasphalt & Eurobitume Congress*.
- Bailey, H.K., S. E. Zoroob, G. (2012)(b) **The use of vegetable oil as a rejuvenator in asphalt mixtures**. *5th Euroasphalt & Eurobitume Congress*.
- Bundesamt für Statistik BfS (2013) **Schweizer Landwirtschaft**. *Taschenstatistik 2013, 872-1300*.
- Bleier, J. (2009) **Rapsöl in Strassenbau- seit 17 Jahre in Österreich bewährt**. *Pflanzenöl. 1, 17-19*.
- Bueche, N. (2011) **Evaluation des performances et des impacts des enrobés bitumineux tièdes**. http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2011/5169/5169_abs.pdf.
- Carlson, A. (2011) **Life cycle assessment of roads and pavements: studies made in Europe**. *VTI Rapport 2011*.
- Delacroix, T., Durand, G., Ballie, M (2008) **Use of bio-binder emulsion for road industry**. *Proceedings of the 4th Euroasphalt and Eurobitume Congress held May 2008, Copenhagen, Denmark*.
- Delfosse, F., Chatillon, M., Prud'homme, D. (2012)(a) **Synthetic binder essentially made of materials from renewable resources, in particular of vegetable origin, and applications thereof in road engineering**. <http://www.freepatentsonline.com/EP2528876.html>.
- Delfosse, F., Jonot, L., Poilaine, P., Moussu, L. (2012)(b) **New technology for the maintenance of flexible pavements**. *Gehalten auf dem 5th Euroasphalt & Eurobitume Congress*.
- EAPA (2012) **Asphalt in figures 2012**.
- ECRPD (2010) **Energy conservation in road pavement design, maintenance and utilisation, Intelligent Energy**. www.roadtechnology.se/ecrpd.eu/.
- Emmenegger, M.F., Gmünder, S., Reinhard, J., Zah, R., Nemecek, T., Schnetzer, J., Bauer, C., Simons, A., Doka, G. (2012) **Harmonisation and extension of the bioenergy inventories and assessment**. *BfE, Bern*.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hirschier, R., Nemecek, T., Rebitzer, G. (2005) **The ecoinvent database: overview and methodological framework**. *The International Journal of Life Cycle Assessment. 10, 3–9*.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.J., Doka, G., Heck, T., Hellweg, S., Hirschier, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., Spielmann, M. (2007) **Overview and methodology**. *Ecoinvent Report. 1*.
- Frischknecht, R., Steiner, R., Jungbluth, N. (2008) **Ökobilanzen**. *Methode der ökologischen Knappheit–Ökofaktoren 2006, Zürich; öbu*.

- Goedkoop, M., Effting, S., Collignon, M. (2000) **The Eco-indicator 99: a damage oriented method for life-cycle impact assessment. Manual for Designers, PRé Consultants.**
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R. (2009) **ReCiPe 2008.**
- Grisard Bitumen AG (1993) **Zur Herstellung von Asphalt-Belägen dienendes Bindemittel.**
<http://pdf.sumobrain.com/EP0568757B1.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIBOKHYOLP4MBMRGQ&Expires=1389484800&Signature=iGBSy5uTBZ3EY1A8Ry1M8lcTIOM%3D>.
- Grisard Bitumen AG (2012) **Produktedokumentation. BRW/BRW-S.**
- Guinée, J.B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning A. de, O.L. van, Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H., Bruijn, H. de, van Duin, R., Huijbregts, M.A.J. (2002) **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.**
- Häkkinen, T., Mäkelä, K. (1996) **Environmental adaption of concrete: environmental impact of concrete and asphalt pavements. VTT TIEDOTTEITA.**
- Horvath, A., Hendrickson, C. (1998) **Comparison of environmental implications of asphalt and steel-reinforced concrete pavements. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 1626, 105–113.**
- ISO (2006) **Environmental management–Life cycle assessment–principles and framework (ISO-14040: 1997).**
- ISO (2006) **Environmental management–lifecycle assessment–requirements and guidelines (ISO 14044: 2006). Beuth Verlag, Berlin (2005).**
- Kellenberger, D., Althaus, H.-J., Künniger, T., Lehmann, M., Jungbluth, N., Thalmann, P. (2007) **Life cycle inventories of building products, data v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.**
- Lommerts, B.J., Van Loef, A.N., Verweij, M.R. (2007) **Improved polymer modified bituminous binder with low emissions.**
<http://www.freepatentsonline.com/EP1756227.html>.
- Marcilloux, J., Antoine, J.-P., Vaniscote, J.-C., Cuennet, G. (2003) **La route se met au vert. Strasse und Verkehr. 89, 30–35.**
- Mroueh, U.-M., Eskola, P., Laine-Ylijoki, J. (2001) **Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction. Waste Management. 21, 271–277.**
- Olsson, S., Kärrman, E., Gustafsson, J.P. (2006) **Environmental systems analysis of the use of bottom ash from incineration of municipal waste for road construction. Resources, conservation and recycling. 48, 26–40.**
- VDI-Richtlinie, V.D.I.: 4600 (1997) **Cumulative energy demand, terms, definitions, methods of calculation. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Germany. 19.**
- Santero, N. (2010) **Life cycle assessment of pavements: a critical review of existing literature and research. Resources Conservation and Recycling, 55, 9-10, 801-809**
 Published: JUL-AUG 2011
- Simonen, M., Pellinen, T., Valtonen, J., Blomberg, T. (2012) **Biofluxed bitumens- experiences from field tests and further developments. 5th Euroasphalt & Eurobitume Congress 2012.**
- SN 640415c **Oberflächenbehandlungen, Tränkungen; Konzeption, Anforderungen, Ausführung.**
- Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., Tuchschnid, M. (2007) **Transport services. Ecoinvent report no. 14. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.**
- Strippel, H. (2001) **Life cycle assessment of road: a pilot study for inventory analysis. IVL RAPPORT 2001.**

Biosuisse (2012) **Weisungen zu den Richtlinien, Produzenten.** Fassung vom 1. Januar 2012.

Biosuisse. (2013) **Richtlinien für die Erzeugung, Verarbeitung und den Handel von Knospe-Produkten.** Fassung vom 1. Januar 2013.

Tanghe, T., Lemoine, G., Nösler, I., Koet, B. (2012) **Influence of rejuvenating additives on recycled asphalt (RAP) properties.** 5th Euroasphalt & Eurobitume Congress 2012.

UVEK (2014) **Verordnung des UVEK über den Nachweis der positiven ökologischen Gesamtbilanz von Treibstoffen aus erneuerbaren Rohstoffen.**

Weidema, B.P., Hischier, R. (2009) **Ecoinvent data v2. 2.**

Weidema, B.P., Wesnæs, M.S. (1996) **Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators.** *Journal of Cleaner Production.* 4, 167–174.

Zah, R., Böni, H., Gauch, M., Hischier, R., Lehmann, M., Wäger, P. (2007) **Ökobilanz von Energieprodukten–Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen.** Studie des EMPA im Auftrag der Bundesämter für Umwelt, Landwirtschaft und Energie der Schweiz, EMPA Materials Science & Technology, Zurich/St. Gallen/Dübendorf.

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 11.11.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2010/402
Projekttitel: Einfluss biogener Öle auf die Ökobilanz von Strassenbaubindemittel
Enddatum: 11.11.2014

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Das vorliegende Forschungsvorhaben hatte zum Ziel, den Einsatz von biogenen Ölen als Bindemittelzusätze im Strassenbau aus ökologischer Sicht zu prüfen. Hierzu wurden die wichtigsten Anwendungen, in denen biogene Öle im Strassenbau zum Einsatz kommen, identifiziert. Es handelt sich dabei um Kaltmischgut für Reparaturen, Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung, Emulsion für Oberflächenbehandlung, farbloses Bitumen und Verjüngungsmittel für Recycling. Auf der Basis von Literaturrecherchen und Expertengesprächen wurde abgeklärt, welche Unterschiede bei der Verarbeitung und im Gebrauch bestehen. Diese Abklärungen haben gezeigt:

- Die Produkte mit biogenen Rohstoffen haben keine nachweisbaren Verbesserungen gegenüber vergleichbare fossile Produkte in Gebrauchseigenschaften nach Einbau, wie z.B. die Lebensdauer.
- Beim Ersatz von fossilen Lösungsmitteln durch biogene Produkte werden die VOC Emissionen beim Einbau reduziert. Dies ist der Fall für Kaltmischgut und Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung. Die Elimination dieser VOC-Emissionen ist für die Umwelt vorteilhaft und erhöht zudem die Arbeitssicherheit und die Arbeitsplatzhygiene.

Die Bewertung erfolgte mit der Methode der Ökobilanzierung und umfasst entsprechend den gesamten Lebensweg und die verschiedensten Auswirkungen auf die Umwelt. Dabei wurde auch die Zusammensetzung der Bindemittel für die verschiedenen Anwendungen berücksichtigt. Zudem wurden die Kosten ermittelt und damit die Öko-Effizienz der untersuchten Materialien berechnet. Die Studie hat gezeigt, dass:

- biogene Öle aus landwirtschaftlichem Anbau bei der Produktion mehr Umweltauswirkungen verursachen als fossile Öle und fossile Lösungsmittel.
- sich Umweltvorteile beim Einsatz von biogenen Ölen dann ergeben, wenn bereits genutzte Öle, zum Beispiel Altspeiseöle, eingesetzt werden können.
- biogene Öle dann einen ökologischen Vorteil haben können, wenn damit ein Zusatznutzen wie die Elimination von VOC-Emissionen erreicht wird.
- bei den meisten der untersuchten Anwendungen zeigen die fossilen Bindemittel eine höhere Öko-Effizienz als die biogenen Bindemittel.
- bei den Bindemitteln mit für Kaltmischgut und Spritzbindemittel für Oberflächenbehandlung haben Produkte mit biogenen Ölen bessere Öko-Effizienz als diejenigen mit fossilen Lösungsmitteln auf Grund der verringerten VOC-Emissionen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die gestellten Forschungsfragen konnten beantwortet werden.

Folgerungen und Empfehlungen:

Auf Grund dieser Resultate können biogene Bindemittelzusätze nicht grundsätzlich empfohlen werden. Ihr Einsatz ist nur dann sinnvoll, wenn sie entweder aus Reststoffen, wie Altspeiseöl, hergestellt werden oder wenn sie einen Zusatznutzen in der Nutzungsphase wie z.B. Reduktion der VOC Emissionen aufweisen. Wesentlich ist, dass die biogenen Bindemittel dieselben Qualitätsanforderungen erfüllen wie die konventionellen Bindemittel, anderenfalls kann ein möglicher Vorteil verloren gehen.

Für weitere Forschungen mit dem Ziel die Umweltauswirkungen zu verringern wird empfohlen, auf die Erzielung von Zusatznutzen zu fokussieren, wie zum Beispiel verringerte Emissionen oder bessere Gebrauchseigenschaften. Diese Zusatznutzen können sowohl mit biogenen als auch mit fossilen Materialien erreicht werden. Auf Grund der Literatursuche wird auch empfohlen die Optimierung des Systems Strasse nicht nur auf die Materialien zu beschränken, sondern auch die Nutzung der Strasse mit einzubeziehen.

Publikationen:

Publikation in Fachzeitschriften ist geplant.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Nättorp

Vorname: Anders

Amt, Firma, Institut: Institut für Ecopreneurship, FHNW

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Forschungsarbeit wurde nach den Regeln der international anerkannten Methode der Ökobilanzierung durchgeführt. Um die Resultate abzusichern wurden verschiedene Bewertungsmethoden angewendet. Zudem wurden die Resultate mit Sensitivitätsanalysen überprüft sowie die Signifikanz der Ergebnisse mit einer Fehleranalyse bestimmt. Die Arbeit entspricht in jeder Beziehung dem heutigen Stand der Forschung.
Die Fragen des Projektziels wurden beantwortet.
Die Studie bestätigt die Vermutung, dass - mit einer eher unbedeutenden Ausnahme - die Verwendung von Bioölen als Bindemittel oder als Bindemittelzusätze im Strassenbau weder ökologisch noch ökonomisch sinnvoll ist. Nicht alles was unter dem Label "Grün" angepriesen wird ist auch umweltfreundlich.

Umsetzung:

Die Umsetzung der Erkenntnisse aus der Studie ist Sache der Besteller von bituminösen Belägen.

weitergehender Forschungsbedarf:

Es besteht zu diesem Thema kein weiterer Forschungsbedarf.

Einfluss auf Normenwerk:

Diese Studie hat keinen Einfluss auf das Normenwerk. Bindemittel aus oder mit Bioölen haben den geltenden Normen zu genügen.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: van den Berg

Vorname: Marinus

Amt, Firma, Institut: privat

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 01.04.2015

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1507	FGU 2007/004	TBM Tunneling in Faulted and Folded Rocks	2015
1505	VSS 2006/509	Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken - Initialprojekt	2014
1503	VSS 2006/515_OBF	Research Package on Bridge Deck Waterproofing Systems: EP5-Mechanisms of Blister Formation	2014
1502	VSS 2010/502	Road – landside interaction : Applications	2014
1501	VSS 2011/705	Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen	2014
1500	ASTRA 2010/007	SURPRICE (Sustainable mobility through road user charging) - Swiss contribution: Equity effects of congestion charges and intra-individual variation in preferences	2015
1499	ASTRA 2011/010	Stauprognoseverfahren und -systeme	2014
1498	VSS 2011/914	Coordinated Ramp Metering Control with Variable Speed Limits for Swiss Freeways	2014
1497	VSS 2009/705	Verfahren zur Bildung von homogenen Abschnitten der Strassenverkehrsanlage für das Erhaltungsmanagement Fahrbahnen	2014
1496	VSS 2010/601	Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Raumnutzungsverhalten von Reptilien	2014
1495	VSS 2009/703	Zusammenhang Textur und Griffigkeit von Fahrbahnen und Einflüsse auf die Lärmemission	2014
1494	VSS 2010/704	Erhaltungsmanagement der Strassen - Erarbeiten der Grundlagen und Schadenkataloge zur systematischen Zustandserhebung und -bewertung von zusätzlichen Objekten der Strassen	2014
1493	VSS 2006/001	Neue Methoden zur Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln	2014
1492	SVI 2004/029	Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell	2014
1491	VSS 2007/704	Gesamtbewertung von Kunstbauten	2014
1490	FGU 2004/002	Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)	2014
1489	VSS 2006/516_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen	2014
1488	SVI 2007/020	Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen	2014
1487	SVI 2008/001	Erfahrungsbericht Forschungsbündel	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1486	SVI 2004/005	Partizipation in Verkehrsprojekten	2014
1485	VSS 2007/401	Anforderungen an Anschlussfugensysteme in Asphaltdecken - Teil 1: Praxiserfahrung	2014
1484	FGU 2010/003	Misestimating time of collision in the tunnel entrance due to a disturbed adaptation	2014
1483	VSS 2005/452	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt	2014
1482	ASTRA 2010/018	SURPRICE: Sustainable mobility through road user charges Swiss contribution: Comprehensive road user charging (RUC)	2015
1481	VSS 2001/702	Application des méthodes de représentation aux données routières	2014
1480	ASTRA 2008/004	Prozess- und wirkungsorientiertes Management im betrieblichen Strassenunterhalt Modell eines siedlungsübergreifenden Unterhalts	2014
1479	ASTRA 2005/004	Entscheidungsgrundlagen & Empfehlungen für ein nachhaltiges Baustoffmanagement	2014
1478	VSS 2005/455	Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes - EP4: Evaluation of Durability	2014
1477	VSS 2008/503	Feldversuch mit verschiedenen Pflasterungen und Plattendecken	2014
1476	VSS 2011/202	Projet initial pour la conception multi-usagers des carrefours	2014
1475	VSS 1999/125	Ringversuch "Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt"	2014
1474	VSS 2009/704	Wechselwirkung zwischen Aufgrabungen, Zustand und Alterungsverhalten im kommunalen Strassennetz-Entwicklung eines nachhaltigen Aufgrabungsmanagement	2014
1473	VSS 2011/401	Forschungspaket "POLIGRIP - Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffbarkeit von Deckschichten - Initialprojekt"	2014
1472	SVI 2010/003	Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten	2014
1471	ASTRA 2008/011	Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr Forschungspaket UVEK/ASTRA - Synthese	2014
1470	VSS 2011/907	Initialprojekt für ein Forschungspaket "Kooperative Systeme für Fahrzeug und Strasse"	2014
1469	VSS 2008/902	Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrsstelematik-Anwendungen	2014
1468	VSS 2010/503	Utilisation des géostructures énergétiques pour la régulation thermique et l'optimisation énergétique des infrastructures routières et ouvrages d'art	2014
1467	ASTRA 2010/021	Sekundärer Feinstaub vom Verkehr	2014
1466	VSS 2010/701	Grundlagen zur Revision der Normen über die visuelle Erhebung des Oberflächenzustands	2014
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgesetz für die Verdichtungskontrolle von Fundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung	2013
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr -	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		Vorstudie	
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Viellissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdruckverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärm mindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter DatentransfERNormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
665	AGB 2011/001	Wirksamkeit und Prüfung der Nachbehandlungsmethoden von Beton	2014
664	AGB 2009/005	Charges de trafic actualisées pour les dalles de roulement en béton des ponts existants	2014
663	AGB 2003/014	Seismic Safety of Existing Bridges	2014
662	AGB 2008/001	Seismic Safety of Existing Bridges - Cyclic Inelastic Behaviour of Bridge Piers	2014
661	AGB 2010/002	Fatigue limit state of shear studs in steel-concrete composite road bridges	2014
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des ponts dalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009