

**Vereinigung schweizerischer Strassenfachleute  
(VSS) - Forschungsauftrag Nr. VSS1998/071**

**Stoffliche Zusammensetzung und  
Beurteilung der langfristigen Um-  
weltverträglichkeit von Sekundär-  
baustoffen**

**Composition des matériaux de récu-  
pération et appréciation de leur in-  
fluence sur l'environnement à long  
terme.**

**SC+P Sieber Cassina + Partner AG, Olten**

E. Cassina, Ing. HTL

P. Plüss, dipl. Ing. ETH

J. Sutter, dipl. Ing. ETH

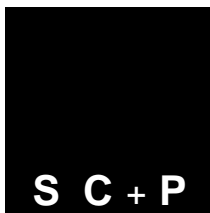
**IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen**

Ch. Angst, Dr. sc. techn.

**Consultest AG, Ohringen**

M. Kronig, dipl. Ing. ETH

**Berichtverfasser:**



**Sieber Cassina + Partner AG**  
Ingenieure Geologen Planer

Olten: Jurastrasse 6, CH-4600 Olten  
Telefon: 062 205 54 00  
Telefax: 062 212 15 76

Olten Bern Zürich Winterthur



Hauptstrasse 591  
4625 Oberbuchsitzen  
Tel. 062 / 389 98 99  
Fax. 062 / 389 98 90

Deisrütistrasse 11  
CH - 8472 Ohringen  
Tel 052 / 335 28 21  
Fax 052 / 335 28 24

SO 839/D  
04.10.02

**CONSULTTEST AG**  
Institut für Materialprüfung, Beratung  
und Qualitätssicherung im Bauwesen



CONSULTEST AG

# Inhaltsverzeichnis

---

Inhaltsverzeichnis.....	i
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>13</b>
1.1. Hintergrund der Studie .....	13
1.2. Systemabgrenzung.....	15
1.3. Stand der Kenntnisse .....	15
1.3.1. Zusammensetzung der Gebäudesubstanz und Entwicklung der Bauabfallmengen.....	15
1.3.2. Zusammensetzung und Schadstofffreisetzung von Sekundärbaustoffen.....	17
1.3.3. Grundwasserbelastungen durch den Einsatz von Sekundärbaustoffen.....	17
1.4. Zielsetzungen (Forschungsziel).....	18
1.4.1. Zusammensetzung und Schadstofffreisetzung heutiger Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 3a).....	18
1.4.2. Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Teilprojekt 1a) .....	18
1.4.3. Grundwasserbelastungen aus den Sekundärbaustoffen (Teilprojekt 1b).....	18
1.4.4. Normenprüfverfahren für Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 2) .....	18
1.4.5. Korrelation Normenprüfverfahren/Schadstoff- Freisetzung (Teilprojekt 3b) .....	19
<b>2. Zusammensetzung und Schadstofffreisetzung heutiger Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 3a, IMP) .....</b>	<b>20</b>
2.1. Proben .....	20
2.1.1. Herkunft der Proben.....	20
2.1.2. Material Proben.....	20
2.1.3. Probenahmeplan.....	21
2.2. Untersuchungsprogramm .....	26
2.2.1. Prüfplan.....	26
2.2.2. Versuchsparameter des Säulenversuches .....	26
2.2.3. Untersuchte Parameter im Eluat.....	26
2.3. Analyseresultate .....	27
2.3.1. Kurzüberblick über die gemessenen Parameter.....	28
2.3.2. Schwankungen der Schadstoffgehalte innerhalb einer Sekundärbaustoffgruppe.....	28
2.3.3. Niveau der Schadstoffgehalte.....	29

**IMP**



**CONSULTEST AG**

2.4. Gefährdungsabschätzung aus Eluaten von Sekundärbaustoffen .....	32
<b>3. Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Teilprojekt 1a, SC+P).....</b>	<b>34</b>
3.1. Methoden.....	34
3.1.1. Systemaufbau für die Stoffflussanalyse.....	34
3.1.2. Lager und Lagerraten.....	38
3.1.3. Datengrundlagen.....	41
3.1.4. Systemgrenzen .....	41
3.1.5. Indikatoren .....	42
3.1.6. Zeitliche Zustände.....	42
3.1.7. Definition der Szenarien.....	43
3.2. Resultate und Diskussion .....	47
3.2.1. Zustand 1997 (Szenario 0).....	47
3.2.2. Zustand 2010 .....	55
3.2.3. Zustand 2040 .....	71
3.2.4. Zusammensetzung der Flüsse in den verschiedenen Szenarien .....	71
3.3. Zusammenfassung und Folgerungen.....	72
3.3.1. Grössenordnung der Massenflüsse und Plausibilitäten.	72
3.3.2. Erkenntnisse aus den Szenarien .....	73
3.3.3. Schlussfolgerungen.....	74
3.3.4. Empfehlungen .....	75
<b>4. Schadstoffauswaschung und Belastung des Grundwassers aus den Sekundärbaustoffen (Teilprojekt 1b, SC+P).....</b>	<b>77</b>
4.1. Methoden.....	77
4.1.1. Grundlagen .....	77
4.1.2. Integration der Resultate der Säulenversuche in das Berechnungsmodell DILUTE2000 .....	78
4.1.3. Berechnung der Schadstoffemissionen aus einer Sekundärbaustoffablagerung.....	79
4.1.4. Berechnung der Schadstoffauswaschung ins Grundwasser unter Einbezug der verschiedenen Szenarien .....	83
4.1.5. Schadstoffimissionen ins Grundwasser .....	83
4.2. Resultate und Diskussion .....	86
4.2.1. Zentrale Einflussgrössen.....	86
4.2.2. Resultate der Schadstoffauswaschungen in den verschiedenen Szenarien.....	91
4.2.3. Immissionen im Grundwasser.....	102

**IMP**



**CONSULTEST AG**

4.3.	Zusammenfassung und Folgerungen.....	109
4.3.1.	Schadstoffauswaschungen (Emissionen) .....	109
4.3.2.	Überlegungen zum weiteren Verlauf der Schadstoffauswaschung aus Sekundärbaustoffen .....	113
4.3.3.	Schadstoffimmissionen im Grundwasser .....	114
4.3.4.	Schlussfolgerungen.....	117
4.3.5.	Empfehlungen .....	118
<b>5.</b>	<b>Normenprüfverfahren für Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 2, Consultest).....</b>	<b>120</b>
5.1.	Visuelles Auszählverfahren – Fragestellungen .....	120
5.2.	Methodische Überprüfung des visuellen Auszählverfahrens.....	121
5.2.1.	Beurteilung des Einflusses des beprobten Korngrössenbereichs .....	121
5.2.2.	Beurteilung des Einflusses der Probenmenge.....	122
5.2.3.	Beurteilung des Einflusses der Temperatur bei der Probenvorbereitung.....	122
5.2.4.	Genauigkeitsbetrachtungen .....	122
5.3.	Ergebnisse und Beurteilung .....	123
5.3.1.	Einfluss des Korngrössenbereich .....	123
5.3.2.	Einfluss der Probenmenge.....	124
5.3.3.	Einfluss der Temperatur.....	125
5.3.4.	Genauigkeitsangaben .....	125
5.4.	Arbeitsanweisung .....	126
<b>6.</b>	<b>Korrelation visuelle Beurteilung / Auswaschversuche (Teilprojekt 3b, IMP/Consultest) .....</b>	<b>128</b>
6.1.	Vergleich der beiden Prüfverfahren.....	128
6.2.	Kohlenwasserstoffe gesamt .....	131
6.3.	AOX (Adsorbierbare org. Halogenverbindungen).....	132
6.4.	Sulfat .....	132
6.5.	Chrom gesamt .....	134
6.6.	Chlorid / Zink / Aluminium.....	134
6.7.	Schlussfolgerungen .....	135
	<b>Literatur .....</b>	<b>136</b>
	<b>Aktuelle VSS-Normen bezüglich Sekundärbaustoffe .....</b>	<b>139</b>
	<b>Glossar.....</b>	<b>140</b>

**IMP**

## **Anhang**

**Anhang 1:** Zusammensetzung und Schadstofffreisetzung heutiger Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 3a, IMP)

**Anhang 2:** Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Teilprojekt 1a, SC+P)

**Anhang 3:** Grundwasserbelastung aus den Sekundärbaustoffen (Teilprojekt 1b, SC+P)

**Anhang 4:** Normenprüfverfahren für Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 2, Consultest AG)

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

**IMP**

## Zusammenfassung

---



**CONSULTEST AG**

Für eine nachhaltige Bewirtschaftung unserer Baustoffe muss neben dem Postulat, zwecks Schonung der Rohstoffressourcen Baustoffe zu rezyklieren, auch langfristig sichergestellt sein, dass dabei keine ökologisch unzulässige Akkumulation von Schadstoffen in unseren Bauwerken und in der Umwelt stattfindet. Inwieweit der bis heute eingeschlagene Weg in der Bewirtschaftung der Baustoffe diesen Kriterien gerecht wird, wurde im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit untersucht. Gleichzeitig wurden auf der Basis des bestehenden visuellen Auszählverfahrens die Grundlagen für ein Normprüfverfahren erarbeitet. Im Hinblick auf die zu erwartende Veränderung der Bauabfallzusammensetzung wird damit sichergestellt, dass nur ökologisch geeignete Sekundärbaustoffe eingesetzt werden.

In einem ersten Teilprojekt (3a) wurden an einer Reihe von Materialproben (Bauschutt und verschiedene Sekundärbaustoffe) die Gesamtgehalte und, anhand von Säulenversuchen, die Auswaschung verschiedener relevanter Schadstoffe analysiert. Bei den Sekundärbaustoffen wurden die höchsten Gesamtgehalte sowie auch Auswaschgehalte erwartungsgemäss im Mischabbruchgranulat gefunden. Die Untersuchung der flüchtigen organischen Parameter (nach EPA) ergab durchgehend vernachlässigbare Konzentrationen (nur 5 aus der gesamten Liste der gemessenen Inhaltstoffe konnten überhaupt festgestellt werden). Im Zusammenhang mit Sekundärbaustoffen sind somit vorwiegend die anorganischen Parameter von Bedeutung.

Anhand einer Stoffflussanalyse wurden in einem zweiten Teilprojekt (1a) die heutigen und künftigen Materialflüsse in der Bauwirtschaft analysiert. Die langfristigen Auswirkungen bei der Bewirtschaftung der Baustoffe wurden für verschiedene Szenarien untersucht und beurteilt. Gesamtschweizerisch gelangen heute jährlich total rund 11.2 mio t/a Bauabfälle in die Verwertungs- oder Entsorgungsprozesse. Daraus werden Sekundärbaustoffprodukte im Umfang von 8.7 mio t/a aufbereitet. Dies entspricht einer Wiederverwertungsrate von ca. 78%. Nur ca. 1% der Bauabfälle gelangen auf Reaktordeponien, ca. 9% werden auf Inertstoffdeponien abgelagert. Die restlichen ca. 12% der Bauabfälle gelangen in andere Verwertungs- oder Entsorgungssprozesse (Brennbares, Holz, Metalle und übrige Komponenten). Allerdings muss aufgrund der Materialbilanzen angenommen werden, dass heute ein nicht unbedeutender Teil der Bauabfälle als illegale Hinterfüllungen zum „verschwinden“ gebracht wird.

In den Szenarien konnte aufgezeigt werden, dass für eine weitergehende Substitution von geogenen Kiesressourcen durch Se-

**IMP**



**CONSULTEST AG**

kundärbaustoffe *mittels einer Steigerung der heutigen Wiederverwertungsrate* von Bauabfällen kein grosses Potential mehr vorhanden ist (maximale Reduktion Kies geogen um ca. 3.5 %). Hingegen würde ein Rückschritt im Baustoffrecycling zu einer deutlich schnelleren Verminderung der heutigen Kiesreserven führen („Negativpotenzial“ mit einem jährlichen Mehrverbrauch von Kies geogen bis zu 25%). Die Anstrengungen der letzten Jahre, die Verwertung von Bauabfällen in der Schweiz zu fördern, waren somit eindeutig erfolgreich. Eine weitergehende Schonung der geogenen Kiesreserven findet erst dann statt, wenn das Lagerwachstum des „Bauwerks Schweiz“ (jährliche Zunahme der Baubsubstanz der gesamten Hoch- und Tiefbauten) abnimmt oder vollständig reduziert wird (Übergang vom „Lagerwachstum“ zur „Lagerbewirtschaftung“). Die Wiederverwertungsrate der Bauabfälle müsste dabei auf dem heutigen hohen Niveau gehalten werden können. Dazu müsste aber der Anteil der verwendeten Sekundärbaustoffe insbesondere im Bereich der Betonherstellung (heute ca. 10%) noch deutlich gesteigert werden.

Für die Abschätzung der Akkumulation von Schadstoffen in der Umwelt wurde deren Auswaschung aus den Sekundärbaustoffen mit einem Modell berechnet (Teilprojekt 1b). Über eine Verdünnungsrechnung konnte daraus die resultierende, potenzielle Konzentrationserhöhung im Grundwasser abgeschätzt werden. Aus den Auswaschungen der heute eingesetzten Sekundärbaustoffe entsteht demgemäss keine erhebliche Zusatzbelastung im Grundwasser. Hingegen erwies sich bei allen berechneten Szenarien der Anteil aus der illegalen Ablagerung von unaufbereiteten Bauabfällen als sehr dominant und führte zu potenziellen Konzentrationserhöhungen, die bis in den Bereich der in der aktuellen Gesetzgebung geforderten Grenzwerte reichten. Grundsätzlich lässt sich somit feststellen, dass der bis heute eingeschlagene Weg in der Sekundärbaustoff-Bewirtschaftung zu keinen unzulässigen Schadstoffakkumulationen in der Umwelt führt, sofern das Problem „illegale Hinterfüllungen“ gelöst werden kann.

Für die inhaltliche Bestimmung von Sekundärbaustoffen mit möglichst einfachen Untersuchungsmethoden wurde die Aussagekraft des heutigen Auszählverfahrens untersucht und weiterentwickelt (Normprüfverfahren für Sekundärbaustoffe, Teilprojekt 2). Als Hauptaussage resultiert dabei die Erkenntnis, dass die Resultate nicht massgebend vom gewählten Korngrössenbereich beeinflusst werden. Somit kann auf die sehr aufwendige Auszählung der Fraktionen < 8 mm ohne Einbusse der Aussagekraft der Resultate verzichtet werden. Die Probenmenge kann auf die entsprechende Menge für die Bestimmung der Korngrössenverteilung abgestützt werden. Eine grössere Probenmenge ist aus prüftechnischer Sicht nicht zwingend. Hingegen spielt die Probenahme eine zentrale Rolle und erfordert im Vergleich zur Probenahme von Primärbaustoffen einen erhöhten Aufwand. Die Temperatur bei der Probenvor-

**IMP**

bereitung kann mit entsprechender Behandlung der Proben ohne mechanische Einwirkungen von 80°C auf 120°C ohne Beeinflussung der Resultate erhöht werden. Zusammenfassend entstand eine Arbeitsanweisung, in welcher alle massgebenden Erkenntnisse berücksichtigt wurden und welche grundsätzlich als Vorlage für eine Prüfnorm dienen kann.

In einem letzten Teilprojekt (3b) wurde untersucht, inwieweit das Norm-Auszählverfahren mit den gemessenen Schadstoffkonzentrationen aus den Säulenversuchen korreliert und zur Beurteilung der ökologischen Eignung von Sekundärbaustoffen verwendet werden kann. Eine eindeutige Zuordnung für die gemäss Auszählverfahren klassifizierten Sekundärbaustoffe ergab sich nur im Bereich der Kohlenwasserstoff gesamt- sowie der Sulfatgehalte, die beim Mischabbruchgranulat durchgehend in einem deutlich höheren Bereich lagen als bei den anderen Sekundärbaustoffen. Eine Korrelation zwischen Höhe des Schadstoffgehaltes und der mengenmässigen Verteilung der einzelnen Komponenten innerhalb eines Sekundärbaustoffes konnte jedoch mit den im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten nicht festgestellt werden.



**CONSULTEST AG**

**IMP**

## Résumé

---

Pour une exploitation durable de nos matériaux de construction, il faut garantir, en plus du recyclage des matériaux pour préserver les ressources en matières premières, qu'aucune accumulation écologiquement inadmissible de polluants dans nos constructions et dans l'environnement n'ait lieu à long terme. Dans le cadre de ce travail de recherche a été examiné dans quelle mesure le chemin suivi jusqu'à aujourd'hui dans l'exploitation des matériaux satisfait ces critères. En même temps ont été élaborées les bases pour une procédure d'essai normée se basant sur la procédure existante par comptage visuel. En prenant en compte les modifications attendues de la composition des déchets de chantier, on s'assure que seul des matériaux de récupération écologiquement convenables sont mis en dépôt.

Dans un premier sous-projet (3a), les teneurs totales sur une série d'échantillons de matériaux (débris de construction et différents matériaux de récupération) ont été analysées, ainsi que la lixiviation de différents polluants importants au moyen d'essais de lixiviation. Parmi les matériaux de récupération, les teneurs totales les plus élevées et les lixiviats les plus chargés ont été trouvés comme attendu dans le granulats non triés. L'analyse des paramètres organiques volatils (par EPA) a montré sans exception des concentrations négligeables (seul 5 des composants mesurés de la liste totale ne pouvaient effectivement être constatés). En ce qui concerne les matériaux de récupération, ce sont donc surtout les paramètres inorganiques qui sont importants.

Au moyen d'une analyse de flux des matières, les parcours des matériaux actuels et futurs dans l'industrie du bâtiment ont été analysés dans un deuxième sous-projet (1a). Les conséquences à long terme pour l'exploitation des matériaux ont été examinées et jugées pour différents scénarios. Ce sont aujourd'hui en Suisse au total environ 11.2 millions de tonne de déchets de chantier qui circulent chaque année dans les processus de recyclage. De là, 8.7 millions t/an de produits issus de matériaux de récupération sont fabriqués. Cela correspond à un taux de recyclage d'environ 78 %. Seulement environ 1% des déchets de chantier arrivent dans les décharges de réacteur et environ 9% sont déposées dans des décharges de matière inertes. Les 12% restants de déchets de chantier arrivent dans d'autres processus de réutilisation ou d'enlèvement des déchets (déchets inflammables, bois, métaux et autres composants). Toutefois, on doit supposer sur la base des bilans des matériaux qu'aujourd'hui une partie non négligeable des déchets de chantier "disparaît" pour des remblayages illégaux.

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

**IMP**



**CONSULTTEST AG**

Les scénarios étudiés ont montré que le potentiel d'augmenter d'avantage la substitution des ressources de gravier d'origine naturelle par des matériaux de récupération par le biais d'une augmentation du taux de recyclage actuel est minime (réduction maximale de gravier d'origine naturelle d'environ 3.5 %). Un recul dans le recyclage des matériaux de construction conduirait par contre à une diminution nettement plus rapide des réserves actuelles de gravier ("potentiels négatifs" avec un supplément de consommation annuel de gravier d'origine naturelle jusqu'à 25%). Les efforts des dernières années pour encourager le recyclage des déchets de chantier en Suisse ont clairement réussi. Une plus grande conservation des réserves de gravier d'origine naturelle aura lieu seulement lorsque la croissance annuelle de la substance de construction totales en Suisse (= "dépôt de matériaux") se diminuera ou sera négative (transition de la "croissance de dépôt" à "l'exploitation de dépôt"). Le taux de recyclage des déchets de chantier devrait pour cela être maintenu au niveau élevé actuel. De plus la part de matériaux de récupération réutilisés devrait encore clairement augmenter, en particulier dans le secteur de la production de béton (aujourd'hui environ 10%).

Pour l'estimation de l'accumulation des polluants dans l'environnement, leur lixiviation des matériaux de récupération a été calculée par un modèle (sous-projet 1b). Par un calcul de dilution, l'augmentation de concentration résultante dans les eaux souterraines pouvait être estimée. Aucune charge considérable supplémentaire dans les eaux souterraines ne résulte de la lixiviation des matériaux de récupération utilisés aujourd'hui. Avec tous les scénarios calculés la charge supplémentaire de la part des dépôts illégaux de déchets de chantier non traités s'est avérée toutefois très dominante et a conduit à des augmentations de concentration potentielles qui ont atteint le domaine des valeurs limites exigées dans la législation actuelle. Il peut ainsi être généralement constaté que le chemin suivi jusqu'à aujourd'hui dans l'exploitation des matériaux de récupération ne conduit pas à une accumulation de polluants inadmissibles dans l'environnement, pour autant que le problème des "remblayages illégaux" puisse être résolu.

Pour la détermination de la composition des matériaux de récupération avec des méthodes d'analyses aussi simple que possible, l'aptitude de la procédure actuelle par comptage visuel a été analysée et développée (procédure d'essai normée pour matériau de récupération, sous-projet 2). Il résulte en conclusion comme élément principal que les résultats ne sont pas influencés de manière décisive par le type de granulométrie choisi. Ainsi on peut renoncer au très dispendieux comptage des fractions < 8 mm sans perte de valeur des résultats. La masse minimale de l'échantillon peut s'appuyer sur la masse correspondante pour la détermination de la granulométrie. Une masse d'échantillon plus grande n'est pas impérative d'un point de vue technique. L'échantillonnage joue

**IMP**



toutefois un rôle central et exige un investissement accru en comparaison de l'échantillonnage de matériau primaire. La température lors de la préparation des échantillons peut être augmentée de 80°C à 120°C sans influence sur les résultats par un traitement approprié des échantillons sans effets mécaniques. En résumé, une procédure de travail dans laquelle toutes les connaissances déterminantes ont été prises en considération, et qui peut en principe servir comme modèle pour une norme d'essai, a été établie.

Dans un dernier sous-projet (3b), il a été examiné dans quelle mesure la procédure de la norme par comptage visuel peut être corrélée avec les concentrations de polluant mesurées par les essais de colonne de lixiviation et peut être utilisée pour l'évaluation de la qualification écologique de matériaux de récupération. Un classement univoque des matériaux de récupération classé selon la procédure par comptage visuel n'a pu avoir lieu que dans le domaine des hydrocarbures, des teneurs totales et des teneurs en sulfate qui, pour les granulats de démolition, se sont toujours situées dans un domaine clairement plus élevé que pour les autres matériaux de récupération. Une corrélation entre la teneur en polluant et la distribution quantitative des différents composants dans un matériau de récupération n'a cependant pas pu être établie avec les données collectées dans le cadre de cette étude.

**CONSULTEST AG**

**IMP**



**CONSULTEST AG**

# 1. **Einleitung**

---

## 1.1. **Hintergrund der Studie**

Verschiedene Randbedingungen haben seit Anfang der Neunzigerjahre zu einer bedeutenden Zunahme der Aufbereitung und Wiederverwertung von Bauabfällen geführt:

- TVA-Forderung nach der Sortierung und Wiederverwertung von Bauabfällen.
- Verknappung und Verteuerung des Reaktordeponievolumens.
- Rezession in der Bauwirtschaft und der damit verbundene Preisdruck, welcher zur Vermeidung von Entsorgungskosten eine vermehrte Triage der Bauabfälle begünstigt hat.

Prognosen der Bauabfallmengen lassen auch bei einer geringen Entwicklung der Neubautätigkeit weiterhin eine deutliche Zunahme erwarten. Diese ergibt sich aus dem grossen Erneuerungsbedarf der vorhandenen Bausubstanz [Lit.1,2].

Fachverbände und Gesetzgeber waren also gefordert, Anforderungen an die Qualität von Sekundärbaustoffen und Richtlinien für deren Verwendung zu formulieren. Heute liegen bereits ein umfangreiches Normenwerk und darauf aufbauend, verschiedene Richtlinien zur Anwendung von Sekundärbaustoffen vor:

- VSS-Normen „Recycling von Bauschutt“ (SN 640 740 bis 640 744, vgl. Kapitel „Aktuelle VSS-Normen“)  
In diesem Normenpaket sind die Anforderungen für die Verwertung von Ausbauasphalt, Strassenaufbruch, Betonabbruch und Mischabbruch normiert. Neben materialtechnischen Anforderungen wurde für jeden Sekundärbaustoff die stoffliche Zusammensetzung aufgrund von bau- und umweltrelevanten Aspekten definiert.
- Richtlinie des ARV (Abbruch und Recycling-Verbandes Schweiz) zu einem visuellen Auszählverfahren für Sekundärbaustoffe.
- Verschiedene kantonale Richtlinien über die Verwendung von Sekundärbaustoffen (bsp. [Lit. 24, 26]).
- BUWAL-Richtlinie über die Verwertung von mineralischen Bauabfällen [Lit. 4].

Als Grundlage für die Erarbeitung der VSS-Normen sowie der verschiedenen Richtlinien dienten mehr oder weniger umfangreiche Labor und Feldversuche an Bauabfällen und Sekundärbaustoffen. (Eluattests, Auswaschversuche in Säulen, Gesamtgehaltsbestimmungen, Einbauversuche, usw.).

**IMP**



**CONSULTEST AG**

In der praktischen Anwendung der VSS-Normen wie auch der meisten kantonalen Richtlinien basiert die Klassifikation der Sekundärbaustoffe jedoch nur noch auf dem visuellen Auszählverfahren des ARV. Detailliertere Angaben zur Zusammensetzung der Sekundärbaustoffe und Nachweise zur Begrenzung der Schadstoff-Freisetzung werden nur für nicht in der VSS-Norm aufgeführte Sekundärbaustoffe verlangt<sup>1</sup>.

Erfahrungsgemäss beträgt der Zyklus für die Erneuerung der Bausubstanz mehrere Jahrzehnte [Lit. 1,2]. Die heutigen Bauabfälle werden demzufolge vor allem durch die in den 60iger Jahren und davor eingesetzten Baustoffe bestimmt. Mit der in den letzten beiden Jahrzehnten verstärkten Zunahme von Verbundstoffen und chemischen Zusätzen im Baumaterial ist eine Zunahme der Schadstoffgehalte in den Bauten sowie in den Bauabfällen zu erwarten. Durch gezielte Abtrennung der belasteten Komponenten beim Abbruch der Bauten und bei der nachfolgenden Aufbereitung der Bauabfälle können die Schadstoffgehalte in den Sekundärbaustoffen niedrig gehalten werden. Bei ungenügender Trennleistung hingegen wirkt sich die Zunahme der Schadstoffgehalte auch auf Qualität der Sekundärbaustoffe aus.

Für die Beurteilung der *bautechnischen* Eignung von Sekundärbaustoffen dürfte das Auszählverfahren auch bei einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung geeignet bleiben. Rückschlüsse auf die *ökologische* Eignung sind jedoch auf der Basis der heutigen Aussagekraft des Auszählverfahrens unter Umständen nicht mehr zulässig, wenn sich die chemische Zusammensetzung der Sekundärbaustoffe signifikant verändert.

Für eine nachhaltige Bewirtschaftung unserer Baustoffe muss deshalb neben dem Postulat, zwecks Schonung der Rohstoffressourcen Baustoffe zu rezyklieren, auch langfristig sichergestellt sein, dass dabei keine ökologisch unzulässige Akkumulation von Schadstoffen in unseren Bauwerken und in der Umwelt stattfindet. Inwieweit der bis heute eingeschlagene Weg in der Bewirtschaftung der Baustoffe diesen Kriterien, voraussichtlich auch bei der zu erwartenden Veränderung der Baustoffzusammensetzung, gerecht wird, soll im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens untersucht werden (Teilprojekt 1a/b). Gleichzeitig sollen Vorschläge erarbeitet werden, wie mit möglichst einfachen Untersuchungsmethoden (z.B. verbesserte Aussagekraft des Auszählversuches) sichergestellt werden kann, dass bei der zu erwartenden Veränderung der Bauabfallzusammensetzung nur ökologisch geeignete Sekundärbaustoffe eingesetzt werden (Teilprojekte 2/3).

---

<sup>1</sup> Zusätzliche Laboruntersuchungen sind in den Richtlinien der Kantone SO und BE vorgesehen. In bestimmten Intervallen wird die Durchführung von Säulenversuchen zur Beurteilung der Schadstoff-Freisetzung verlangt.

**IMP**



**CONSULTTEST AG**

## 1.2. Systemabgrenzung

Die vorliegende Studie befasst sich gemäss Titel mit der „stofflichen Zusammensetzung und langfristigen Umweltverträglichkeit von Sekundärbaustoffen“. Unter der Bezeichnung „Sekundärbaustoffe“ fallen dabei im Rahmen dieser Studie alle gesteinsähnlichen Komponenten aus der Aufbereitung von Bauabfällen, welche bei der Neuerstellung, der Erneuerung oder dem Abbruch von Bauwerken entstanden sind. Konkret handelt es sich um jene Produkte des Sekundärbaustoffmarktes, welche auch in den weiter oben zitierten Richtlinien des ARV und des BUWAL aufgeführt sind:

- Mischabbruchgranulat
- Betongranulat
- Asphaltgranulat
- Recyclingkies (A, B und P)

Diese Materialien werden auf dem Markt hauptsächlich in kiesähnlicher Form angeboten. Ihr Einsatz bedeutet deshalb immer eine Substitution und somit auch eine Schonung der natürlichen Kiesressourcen („geogener Kies“). Andere, in quantitativer sowie in qualitativer Hinsicht ebenfalls wichtige Sekundärbaustoffe wie etwa Holz oder Metalle, werden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

Der Einsatz der kiesigen Sekundärbaustoffe erfolgt entweder in gebundener Form (Betonherstellung, Strassenbeläge) oder in loser Form (Strassenkofferungen, Hinterfüllungen bei Hochbauten). Dabei erfolgt der Einsatz in loser Form heute weit häufiger. In dieser Form können die Schadstoffe in den Sekundärbaustoffen aber freigesetzt werden und ins Grundwasser gelangen, wenn sie der Witterung ausgesetzt sind. Dieses Gefährdungspotential, die Schadstoffauswaschung ins Grundwasser, bildet den Schwerpunkt der in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen zur Beurteilung der stofflichen Zusammensetzung und der langfristigen Umweltverträglichkeit der oben genannten Sekundärbaustoffe.

## 1.3. Stand der Kenntnisse

### 1.3.1. Zusammensetzung der Gebäudesubstanz und Entwicklung der Bauabfallmengen

Mit den in der Literaturzusammenstellung aufgeführten Arbeiten liegen recht gute Grundlagen über die Zusammensetzung des Gebäudeparkes seit der Jahrhundertwende vor [Lit. 9, 10, 20].



CONSULTEST AG

Gemäss der Studie Wüest + Partner [Lit. 1] besteht der aktuelle Baubestand aus 2.09 Mia Tonnen Materialgewicht. Mit 1.4 Mia Tonnen entfallen dabei etwa zwei Drittel auf den Hochbau. Die im Hochbau gebundenen Baumaterialien sind hauptsächlich Beton und Mauerwerk. Im Tiefbau machen die Materialien Sand und Kies rund 60 % der eingesetzten Baumaterialien aus (vgl. Abbildung 1-1).

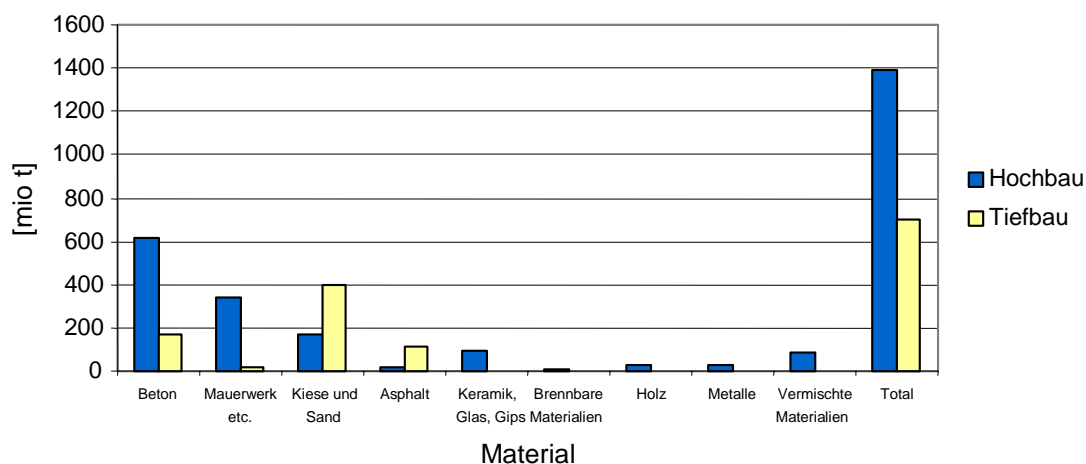


Abbildung 1-1: Im Baubestand gelagerte Materialien (1997); Datengrundlage Studie Wüest+Partner [Lit. 1]

Die Instandhaltung, Sanierung und Erneuerung des Baubestands führt zu einer Freisetzung dieser gebundenen Baumaterialien. Die entstehenden Bauabfälle müssen verwertet, behandelt oder abgelagert werden. Die in der Studie Wüest+Partner berechnete totale Bauabfallmenge für das Jahr 1997 beträgt rund 11.1 mio to. 55 % der Abfälle stammen dabei aus dem Tiefbau, 45 % aus dem Hochbau (vgl. Abbildung 1-2).

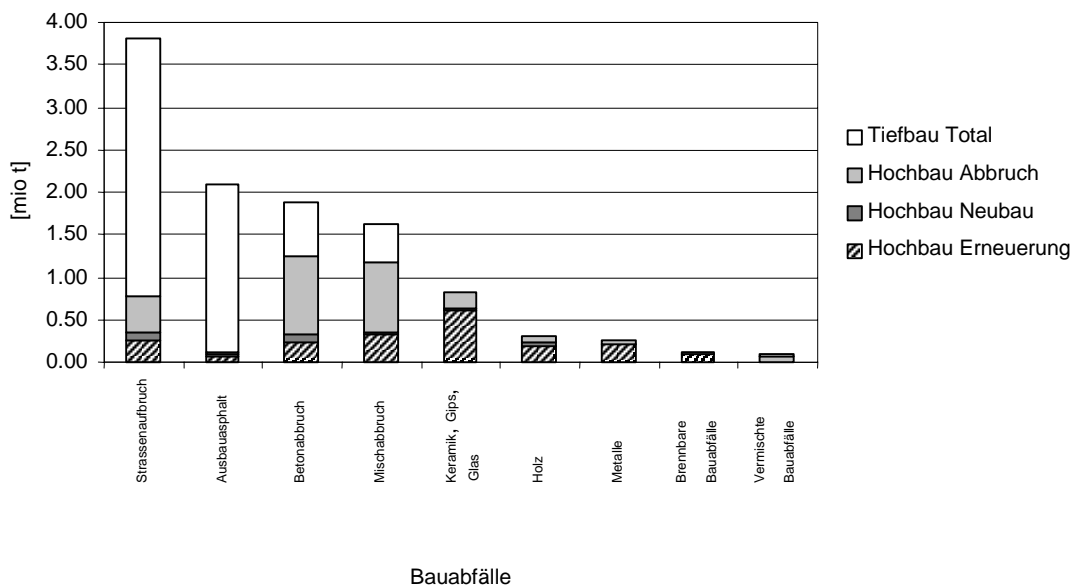


Abbildung 1-2: Bauabfälle 1997 aus dem Hoch- und Tiefbau in der Schweiz;  
 Daten aus Berechnungen in der Studie Wüest+Partner [Lit. 1]

**IMP**

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

### 1.3.2. Zusammensetzung und Schadstofffreisetzung von Sekundärbaustoffen

Bei den heute definierten Sekundärbaustoffen sowie bei einzelnen Baustoffkomponenten sind die Schadstoffgehalte und deren Freisetzung verschiedentlich untersucht worden [Lit. 7, 11, 24, 31]. Für die Durchführung der Stoffflussanalysen liegen damit bereits umfassende Grundlagen vor.

### 1.3.3. Grundwasserbelastungen durch den Einsatz von Sekundärbaustoffen

Von SC+P sind im Zusammenhang mit der Langzeitprognose von Schadstoffemissionen aus dem Umfeld von Bauschuttdeponien/Altlasten und deren Einfluss auf die Qualität des Grundwassers bereits umfangreiche Auswertungen vorhandener Daten durchgeführt und in einem Berechnungsmodell integriert worden. Das Modell („DILUTE“, [Lit. 21]) berechnet die Schadstoffauswaschung von Ablagerungen in ihrem zeitlichen Verlauf. Für die Durchführung der vorliegenden Forschungsarbeit kann auf diesen Grundlagen aufgebaut werden. Nicht bekannt ist hingegen, ob der Einsatz von Sekundärbaustoffen langfristig zu einer unzulässigen Grundwasserbelastung führt.

**IMP**



**CONSULTEST AG**

## **1.4. Zielsetzungen (Forschungsziel)**

### **1.4.1. Zusammensetzung und Schadstofffreisetzung heutiger Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 3a)**

Durch eine gezielte Probenahme soll ein Überblick über die Zusammensetzung und Schadstoff-Freisetzung heutiger Sekundärbaustoffe erhalten werden.

### **1.4.2. Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Teilprojekt 1a)**

Anhand einer Stoffflussanalyse werden die langfristigen Auswirkungen verschiedener Szenarien bei der Bewirtschaftung der Baustoffe untersucht und beurteilt. Basierend auf den heutigen Massenflüssen wird eine detaillierte Systemanalyse durchgeführt. Aufgrund dieser Erkenntnisse werden realistische Szenarien für künftige Stoffflüsse entworfen.

### **1.4.3. Grundwasserbelastungen aus den Sekundärbaustoffen (Teilprojekt 1b)**

Basierend auf den im Teilprojekt 1a durchgeführten Überlegungen zu möglichen Szenarien der Baustoffbewirtschaftung wird die Schadstoffauswaschung aus den eingesetzten Sekundärbaustoffen berechnet. Daraus werden die Immissionen ins Grundwasser quantifiziert und die Auswirkungen auf die Qualität des Grundwassers beurteilt.

### **1.4.4. Normenprüfverfahren für Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 2)**

Im Herbst 1993 traten die fünf VSS-Normen "Recycling von Bauschutt" in Kraft (SN 640 740 bis 640 744). In diesem Normenpaket, welches 1998 überarbeitet und an die BUWAL-Richtlinien angepasst wurde, ist die Verwertung von Ausbauasphalt, Strassenaufbruch, Betonabbruch und Mischabbruch normiert.

Neben den herkömmlichen materialtechnischen Anforderungen wurde für jeden Sekundärbaustoff die stoffliche Zusammensetzung aufgrund bau- und umweltrelevanten Aspekten definiert.

Zum Beispiel beträgt für ein Recycling-Kiessand Typ A der Anteil an

Asphaltgranulat	maximal 20 Gew.-%,
Betongranulat	maximal 4 Gew.-%,
Mischabbruch	maximal 1 Gew.-%
Fremdstoffe	maximal 0.3 Gew.-%.

**IMP**

Diese normierte Zusammensetzung der Sekundärbaustoffe bildet Grundlage für die bau- und umwelttechnisch abgestützte Anwendungsform. Mit Berücksichtigung der Grundsätze des Vermischungsverbotes (TVA) und der angestrebten Sortenreinheit (z.B. keine Mischung "Schwarz-Weiss"), bildet die stoffliche Zusammensetzung ein Hauptkriterium zur Qualitätsbeurteilung.



Für die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung besteht keine einheitliche, gesamtschweizerisch gültige technische Prüfnorm. In der Praxis hat sich ein visuell abgestütztes Auszählverfahren durchgesetzt. Neben Prüfmethoden, welche teilweise einzelne Kantone aufgestellt haben, besteht vom ARV (Abbruch und Recyclingverband Schweiz) ein Verfahren, welches in einer verbandsinternen Richtlinie beschrieben ist (vgl. [Lit. 16]).

Das Ziel dieses Teilprojektes besteht darin, dieses visuelle Auszählverfahren zu überprüfen und Grundlagen für ein Normprüfverfahren zu erarbeiten. Dieses gesamtschweizerisch einheitliche Prüfverfahren soll auch eine einheitliche Beurteilung und Qualitätskontrolle ermöglichen. Somit wird die Lücke, dass zwar Anforderungsnormen bestehen, nicht aber die entsprechenden Prüfnorm, geschlossen.

**CONSULTEST AG**

#### **1.4.5. Korrelation Normenprüfverfahren/Schadstoff-Freisetzung (Teilprojekt 3b)**

Durch vergleichendes Auszählen der Komponenten und parallelem Durchführen von Säulenversuchen soll abgeklärt werden, inwieweit das relativ einfache Norm-Auszählverfahren, trotz theoretischen Bedenken, mit den gemessenen Schadstoffkonzentrationen korreliert und zur Beurteilung der ökologischen Eignung von Sekundärbaustoffen verwendet werden kann.



## 2. Zusammensetzung und Schadstofffreisetzung heutiger Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 3a, IMP)

S C + P

### 2.1. Proben

#### 2.1.1. Herkunft der Proben

Die Proben wurden durch IMP (Kanton Solothurn) und Consultest (Kanton Zürich) entnommen. Damit die Probenahmestellen gleichmässiger über die Deutschschweiz verteilt sind, wurde je ca. die Hälfte der Probenahmen durch IMP (16 Probenahmen) und Consultest (19 Probenahmen) durchgeführt.

IMP entnahm die Asphaltgranulate bei der Firma Vogt AG in Gunzgen. Die übrigen Probenahmen der IMP erfolgten bei der SEG AG Zuchwil. Diese beiden Anlagen wurden gewählt, da es sich dabei um Lieferanten handelt, die einen kontinuierlichen Ausstoss an Sekundärbaustoffen haben. Dadurch kann von einem konstanteren und höheren Qualitätsniveau ausgegangen werden.

#### 2.1.2. Material Proben

##### Mischabbruchgranulat, Gesamtfraktion

Nr. gem. Probeplan	IMP-Nr.	Probenahmedatum (Eingang IMP)	Probennehmer	Ort	Bemerkungen
3.4a	U01-0114	01.03.2001	Consultest	–	Mischabbruch
3.4b	U99-0399	25.10.1999	IMP	SEG Zuchwil	Mischabbruch 0/25
3.6	U99-0543	09.12.1999	Consultest	–	Mischabbruch
3.8	U00-0196	28.04.2000	IMP	SEG Zuchwil	Mischabbruch 0/25
3.11	U00-0181	11.04.2000	Consultest	–	Mischabbruch
3.18a	U00-0442	05.09.2000	Consultest	–	Mischabbruch
3.18b	U00-0215	05.05.2000	IMP	SEG Zuchwil	Mischabbruch 0/63
3.20	U00-0439	05.09.2000	Consultest	–	Mischabbruch
3.23	U00-0331	19.07.2000	IMP	SEG Zuchwil	Mischabbruch 0/25
3.25	U00-0441	05.09.2000	Consultest	–	Mischabbruch

CONSULTEST AG



**Mischabbruchgranulat; Teilfraktion**

Nr. gem. Probenplan	IMP-Nr.	Probenahmedatum (Eingang IMP)	Probennehmer	Ort	Bemerkungen
3.1	U99-0396	25.10.1999	IMP	SEG Zuchwil	Mischabbruch; ab Eingang der Aufbereitungsanlage; Überkorn (ca. 10%) > 63 von Hand aussortiert
3.15b	U00-0235	25.10.1999	IMP	SEG Zuchwil	3.1 Fraktion < 32 mm keine weitere Behandlung vor der Untersuchung
3.15c	U00-0236	25.10.1999	IMP	SEG Zuchwil	3.1 Fraktion > 32 mm bei IMP auf < 32 mm gebrochen und untersucht
3.3 + 3.17	U00-0649 (U99-0398 + U00-0270)	25.10.1999	IMP	SEG Zuchwil	Mischabbruchproben nach Brechung; nach Windsichtung



CONSULTEST AG

**Sekundärbaustoffe; ohne Mischabbruchgranulat**

Nr. gem. Probenplan	IMP-Nr.	Probenahmedatum (Eingang IMP)	Probennehmer	Ort	Bemerkungen
3.12 + 3.26	U00-0653 (U00-0182 + U00-0367)	14.03.2000 16.08.2000	Consultest IMP	- Vogt Gunzgen	Mischung von 2 Proben Asphaltgranulat
3.13 + 3.27	U00-0654 (U00-0197 + U00-0366)	28.04.2000 16.08.2000	IMP IMP	Vogt Gunzgen	Mischung von 2 Proben Asphaltgranulat (Fräsgut teerhaltig)
3.5 + 3.19	U00-0652 (U99-0484+ U00-0440)	02.10.1999 05.09.2000	Consultest Consultest	-	Mischung von 2 Proben Recycling-Kiessand A
3.9 + 3.21	U00-0650 (U00-0217 + U00-0250)	05.05.2000 14.06.2000	IMP IMP	SEG Zuchwil	Mischung von 2 Proben Beton-granulat 0/63
3.22	U01-0115	09.12.1999	Consultest	-	Recycling-Kiessand B
3.24	U00-0332	19.07.2000	IMP	SEG Zuchwil	Mischung aus Asphalt und Beton 0/25
3.14	U00-0333	19.07.2000	IMP	SEG Zuchwil	Kiessand P 0/25

**2.1.3. Probenahmeplan**

Im folgenden ist der detaillierte Probenahmeplan für die zu untersuchenden Sekundärbaustoffe aufgeführt. Der Probenahmeplan enthält die Kalenderwoche sowie das Jahr der geplanten Probenahme. Im weiteren wird im Probenahmeplan detailliert aufge-

**IMP**

zeigt, wer die Probe entnimmt und welche Untersuchungen durch welches Labor durchgeführt werden (IMP oder Consultest). Um mit den knappen Budgetressourcen ein möglichst umfangreiches Programm durchführen zu können, wurden zum Teil zwei Proben zu einer Sammelprobe vereinigt. Diese Vereinigung ist durch eine fette Klammer auf dem Probenahmeplan dargestellt.



Als Besonderheit ist zu beachten, dass die Probe 3.15 (Mischabbruchgranulat Eingangsqualität) nicht untersucht wurde. Diese Probe ist zu grobkörnig um in einem Labor untersucht zu werden. Als Alternative dazu wurde die Mischabbruch-Eingangsprobe (3.1) in die Proben 3.15b und 3.15c aufgetrennt.

Die Probe 3.15b stellt die Fraktion < 32 mm (Probe 3.1), welche direkt untersucht wurde dar.

Bei der Probe 3.15c wurde ein Säulenversuch mit der Fraktion < 32 mm durchgeführt. Diese Fraktion wurde aus den Anteilen > 32 mm (Probe 3.1) durch Brechen gewonnen.

Dem Probenahmeplan liegen die folgenden Sekundärbaustoff-Sorten zu Grunde:

- Mischabbruch Eingang ohne Überkorn
- Mischabbruch Feinanteil Ex-Labor < 32 mm
- Mischabbruch Grobanteil (> 32 mm)
- Mischabbruch ohne Feinanteil
- Mischabbruchgranulat (Produkt)
- Asphaltgranulat mit Bitumen
- Asphaltgranulat teerhaltig
- Betongranulat
- Recycling-Kiessand A
- Recycling-Kiessand B
- Recycling-Kiessand A und B gemischt
- Recycling-Kiessand P

Pro Sekundärbaustoff-Sorte wurden in der Regel zwei Proben entnommen. Beim Produkt Mischabbruchgranulat wurden 10 Proben entnommen. Dies aufgrund der Tatsache, dass dieses Material den problematischsten Sekundärbaustoff darstellt und zudem eine grosse Streuung zu erwarten ist.

Im folgenden wird der dreiteilige Probenahmeplan dargelegt.

**CONSULTEST AG**



CONSULTEST AG

**Probenahme-Teilplan 1**

		Mischabbruch Eingang				Mischabbruch Feinanteile ex Lab				Mischabbruch ohne Feinanteil				Mischabbruch-Granulat			
		Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung	Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung	Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung	Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung
KW 41 99	Consultest				3								3	C <sub>a</sub>	I	C2	3
	IMP	I	I	I	1					I	I	I	3	I <sub>b</sub>	I	I	4
KW 47 99	Consultest													C		C	3
	IMP													I			6
KW 14 00	Consultest													C		C	3
	IMP													I			11
KW 16 00	Consultest															C	3
	IMP													I	I	I	8
KW 18 00	Consultest				3								3	C <sub>a</sub>	I	C2	3
	IMP	X	I	I	15	I	I	I	15	I			17	I <sub>b</sub>	I	I	18
KW 23 00	Consultest													C		C	3
	IMP					I	I	I	15					I			20
KW 27 00	Consultest															C	3
	IMP													I	I	I	23
KW 32 00	Consultest													C		C	3
	IMP													I			25
Bilanz	<b>Consultest</b>																
	Probenahmen	0				0				0				6			
	Säulenversuche	0				0				0				0			
	Auszählungen	0				0				0				8			
	<b>IMP</b>																
	Probenahmen	2				0				2				4			
	Säulenversuche	2				2				1				10			
Auszählungen	2				2				1				4				
<b>Total</b>																	
Probenahmen	2				0				2				10				
Säulenversuche	2				2				1				10				
Auszählungen	2				2				1				12				

**C2:** Material für Teilprojekt 2; grosse Materialmenge

**X:** grosse Probemenge; umfangreicheres Laborprogramm

**I:** IMP Bautest AG

**C:** Consultest AG

**a und b:** parallele Probenahme an zwei Stellen durch IMP und Consultest

Probenahme ausgeführt



CONSULTEST AG

**Probenahme-Teilplan 2**

		Recycling-Kiessand A				Recycling-Kiessand B				Recycling-Kiessand A-B +				Recycling-Kiessand P			
		Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung	Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung	Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung	Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung
KW 41 99	Consultest IMP	C			3	C		C2	2					C		C2	2
					5				3								4
KW 47 99	Consultest IMP					C			3								
									7								
KW 14 00	Consultest IMP																
KW 16 00	Consultest IMP																3
														I	I	I	14
KW 18 00	Consultest IMP	C			3	C		C2	2					C		C2	2
			I	I	19				7								8
KW 23 00	Consultest IMP					C			3								
							I	I	22								
KW 27 00	Consultest IMP																3
										I	I	I	24				
KW 32 00	Consultest IMP																3
														I			28
<b>Bilanz</b>	<b>Consultest</b>																
	Probenahmen		2				4				0				2		
	Säulenversuche		0				0				0				0		
	Auszählungen		1				2				0				2		
	<b>IMP</b>																
	Probenahmen		0				0				1				2		
	Säulenversuche		1				1				1				1		
	Auszählungen		1				1				1				1		
	<b>Total</b>																
	Probenahmen		2				4				1				4		
	Säulenversuche		1				1				1				1		
	Auszählungen		2				3				1				3		

**C2:** Material für Teilprojekt 2; grosse Materialmenge

**X:** grosse Probemenge; umfangreicheres Laborprogramm

**I:** IMP Bautest AG

**C:** Consultest AG

**a und b:** parallele Probenahme an zwei Stellen durch IMP und Consultest

Probenahme ausgeführt



CONSULTEST AG

**Probenahme-Teilplan 3**

		Asphaltgranulat Bitumen				Asphaltgranulat Teer				Betongranulat			
		Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung	Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung	Probenahme	Säulenversuch	Auszählung	Bezeichnung
KW 41 99	Consultest IMP	C		C2	2					C		C2	2
KW 47 99	Consultest IMP												
KW 14 00	Consultest IMP	C			3								
KW 16 00	Consultest IMP					I	I	I	3	I	I	I	9
KW 18 00	Consultest IMP	C		C2	5					C		C2	2
KW 23 00	Consultest IMP									I			3
KW 27 00	Consultest IMP												21
KW 32 00	Consultest IMP	I	I	I	3	I			3				
<b>Bilanz</b>	<b>Consultest</b>												
	Probenahmen		3				0				2		<b>Total</b>
	Säulenversuche		0				0				0		<b>19</b>
	Auszählungen		2				0				2		<b>0</b>
	<b>IMP</b>												<b>17</b>
	Probenahmen		1				2				2		<b>16</b>
	Säulenversuche		1				1				1		<b>22</b>
	Auszählungen		1				1				1		<b>16</b>
	<b>Total</b>												
	Probenahmen		4				2				4		<b>35</b>
	Säulenversuche		1				1				1		<b>22</b>
	Auszählungen		3				1				3		<b>16</b>
	<b>Total</b>												<b>33</b>

**C2:** Material für Teilprojekt 2; grosse Materialmenge

**X:** grosse Probemenge; umfangreicheres Laborprogramm

**I:** IMP Bautest AG

**C:** Consultest AG

**a und b:** parallele Probenahme an zwei Stellen durch IMP und Consultest

Probenahme ausgeführt

**IMP**



**CONSULTEST AG**

## **2.2. Untersuchungsprogramm**

### **2.2.1. Prüfplan**

Der Prüfplan ist in den Probenahmeplan integriert. Das heisst aus dem Probenahmeplan kann entnommen werden, mit welchen Proben welche Untersuchung (Säulenversuch und/oder Auszählung) durchgeführt wurden.

### **2.2.2. Versuchsparameter des Säulenversuches**

Die Säulenversuche wurden mit einer Altlastensäule [Richtlinie für die Durchführung von Eluattests (Säulenversuchen) gemäss Altlastenverordnung (AltIV)] durchgeführt. Die Masse der Säule sind im folgenden aufgeführt:

Durchmesser:	100 mm
Höhe:	ca. 1.2 m
Säulenfüllung nass:	ca. 10 kg
Elutionsgeschwindigkeit:	3.5 ml/Min.
Elutionsmittel:	deionisiertes, entgas- tes Wasser
Beprobte Wasser-Feststoff-Verhältnisse:	0 bis 0.4 / 0.6 bis 1.0 / 2.3 bis 2.7

Die AltIV sieht folgende Wasser-Feststoff-Verhältnisse vor: 0-0.25 / 0.25-3 / 3-6.

In Abweichung zur AltIV wurden 3 Proben im Bereich der beiden tieferen W/F-Verhältnisse entnommen.

Die W/F-Verhältnisse wurden derart gewählt, dass das Starteluat, bei welchem hohe Schadstoffgehalte zu erwartet sind, ausgiebiger erfasst wird (W/F 0 bis 0.4).

Das W/F-Verhältnis 0.6 bis 1.0 liegt gemäss den bisherigen Erfahrungen im Übergangsbereich der Elutionskurve, also zwischen dem Bereich der hohen Schadstoffkonzentrationen und dem abgeflachten Bereich.

Das Wasser-Feststoff-Intervall 2.3 bis 2.7 liegt bereits im abgeflachten Bereich resp. zumindest im ersten Teil dieses Bereiches.

### **2.2.3. Untersuchte Parameter im Eluat**

Bei der Zusammenstellung der Parameter, welche in den Eluaten nachgewiesen wurden, konnte auf die langjährige Erfahrung der IMP Analytik mit Säulenversuchen zurückgegriffen werden. Dadurch war es möglich, sich auf jene Parameter zu beschränken, bei denen auch ein erhöhter Gehalt zu erwarten war. Diese untersuchten Parameter beinhalten die anorganischen Stoffe, pH-Wert,

**IMP**



**CONSULTTEST AG**

elektrische Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, Nitrit, Nitrat, Ammonium, Aluminium, Chrom VI und Zink. Da im Rahmen des Forschungsauftrages auch untersucht werden soll, wie sich die Verwertung von Sekundärbaustoffen langfristig auf das Grundwasser auswirkt, das heisst, ob es sich bei Anwendungen von Sekundärbaustoffen um potentiell belastete Standorte handelt, wurde die Parameterliste aufgrund der Altlastenverordnung (AltIV) erweitert. Zusätzlich wurde die Untersuchungsliste durch die Summenparameter AOX, DOC und  $KW_{gesamt}$  ergänzt. Diese Summenparameter zeigen allgemein das Vorhandensein von organische Stoffen. Im weiteren wurden die Parameter Phenole, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (16 PAK nach EPA<sup>2</sup>) – im folgenden Text nur als PAK bezeichnet – und leicht flüchtige Lösungsmittel ("Purge and Trap" nach EPA 524) mit in die Untersuchungsliste aufgenommen um einige Anhaltspunkte für spezifische, einzelne Verbindungen aufzuzeigen.

Um das Gesamtpotential an Schadstoffen in den untersuchten Sekundärbaustoffen festzustellen, wurden ebenfalls Gesamtgehalte bestimmt. Dabei fiel die Wahl der Parameter auf Chlorid, Sulfat, Aluminium,  $Chrom_{total}$ , Zink, AOX, Glühverlust, Kohlenwasserstoffe<sub>gesamt</sub> und PAK. Diese Parameter können durch einen Aufschluss resp. einer erschöpfenden Extraktion der Analytik zugänglich gemacht werden. Sie zeigen nicht eine direkte Gefährdung der Umwelt durch Sekundärbaustoffe an, sondern geben einen Hinweis auf das vorhandene Potential eines Sekundärbaustoffes.

Im Anhang 1.1 sind die jeweiligen Parameter und die untersuchten Sekundärbaustoffe aufgeführt. Dieser Tabelle ist zu entnehmen, in welchen Baustoffen welche Parameter untersucht wurden. Dabei ist zu beachten, dass jeweils nicht alle Parameter überall untersucht wurden. Diese Auswahl erfolgte ganz bewusst aufgrund der Erfahrung, dass gewisse Schadstoffe in einigen Sekundärbaustoffen gar nicht oder nur in vernachlässigbarer Menge zu erwarten sind. So sind beispielsweise erfahrungsgemäss in rein asphaltartigen Proben kaum Belastungen von Chlorid, Sulfat, Nitrit, Nitrat, Aluminium, Chrom VI und Zink zu finden.

Die Untersuchung der Parameter PAK und EPA 524 wurde nur vereinzelt eingesetzt um die vorhandenen Ressourcen des Forschungsauftrages nicht zu überbeanspruchen.

## 2.3. Analyseresultate

Die Analyseresultate der einzelnen Säulenversuche sind im Anhang 1 einzeln aufgeführt.

<sup>2</sup> Environmental Protection Agency (US Umweltbehörde)

**IMP**

Die Ergebnisse werden im Folgenden kommentiert.

### **2.3.1. Kurzüberblick über die gemessenen Parameter**

Interessant ist, dass in den untersuchten Säuleneluaten mittels des Versuches EPA 524 (flüchtige Kohlenwasserstoffe) von den detektierbaren 129 Verbindungen nur gerade 5 (m/p-Xylol, Trimethylbenzole, Dichlormethan, Tetrachlorkohlenstoff, Toluol) teilweise nachgewiesen werden konnten. Die Gehalte waren bei diesen 5 Schadstoffen allgemein sehr tief. Damit kann gezeigt werden, dass nur sehr wenige Schadstoffe nach der AltIV in den Sekundärbaustoffen vorhanden sind. Der Schwerpunkt der vorhandenen Schadstoffe setzt sich somit aus anorganischen Substanzen zusammen.

### **2.3.2. Schwankungen der Schadstoffgehalte innerhalb einer Sekundärbaustoffgruppe**

#### **Mischabbruchgranulat und Mischabbruchgranulat aufbereitet**

Bei den Gesamtgehalten im Mischabbruchgranulat sind die Parameter Aluminium, Zink, Chrom<sub>gesamt</sub>, Chlorid, Sulfat, AOX, Kohlenwasserstoffe<sub>gesamt</sub> sowie die Summe der PAK mit einer relativen Standardabweichung von > 50% als stark schwankend zu bezeichnen (siehe Anhang 1.3 und 1.4).

Lediglich die Parameter Trockensubstanz und Glühverlust können als konstant über alle untersuchten Proben bezeichnet werden.

In den Säuleneluaten (alle drei W/F-Verhältnisse 0-0.2 / 0.2-0.8 / 0.8-2.5) variieren die Schadstoffgehalte zwischen den einzelnen Mischabbruchgranulaten zum Teil beträchtlich (Anhang 1.6). Um ein klareres Bild der Schadstoffauswaschung zu erhalten, wurden die Mittelwerte aus den einzelnen Granulaten bei einem W/F-Verhältnis gebildet. Nur die Parameter Chrom VI, Sulfat sowie Phenole<sub>gesamt</sub> zeigen bei allen drei W/F-Verhältnissen eine relative Standardabweichung von > 50%. Die übrigen Parameter haben alle eine relative Standardabweichung von < 50%, wobei bei einigen W/F-Verhältnissen diese jedoch wieder grösser als 50% ist.

In den Säulenversuchen der aufbereiteten Mischabbruchgranulaten sind folgende relativen Standardabweichungen bei allen 3 W/F-Verhältnissen grösser als 50%: Aluminium, Chrom VI, Ammonium, Nitrit und DOC.

Es zeigte sich auch, dass bei den beiden untersuchten Mischabbruchgranulat-Qualitäten nur der Parameter Chrom VI über eine konstant grosse Standardabweichung verfügt.



**CONSULTEST AG**

**IMP**



**CONSULTTEST AG**

### **Übrige Sekundärbaustoffe**

Bei den übrigen Sekundärbaustoffen handelt es sich um Asphaltgranulat mit Bitumen und mit teerhaltigem Bindemittel, Kiessand A, Betongranulat, Kiessand B, Kiessand A und B gemischt und Kiessand P. Bei den Gesamtgehalten fallen die Parameter Chrom<sub>gesamt</sub>, Chlorid, Sulfat, Kohlenwasserstoffe<sub>gesamt</sub> und die Summe PAK mit einer relativen Standardabweichung von > 50% auf (siehe Anhang 1.5).

In den Säuleneluatungen sind bei den Parametern elektrische Leitfähigkeit, Ammonium, Nitrit und DOC bei jeweils allen drei Wasser-Feststoff-Verhältnissen relative Standardabweichungen von > 50% feststellbar (Anhang 1.6). Es handelt sich hierbei um Parameter, die ebenfalls bei den aufbereiteten Mischabbruchgranulaten über eine grosse Streuung verfügen. Interessant ist die Feststellung, dass die elektrische Leitfähigkeit bei den "übrigen Sekundärbaustoffen" stark streut. Dies ist darauf zurückzuführen, dass hier auch Produkte untersucht worden sind, die über einen nur sehr geringen Gehalt an löslichen Salzen verfügen (Asphaltgranulate mit Bitumen oder Teer, Kiessand A sowie Kiessand P).

### **2.3.3. Niveau der Schadstoffgehalte**

#### **Vergleich der Gesamtgehalte**

Generell schneiden die Mischabbruchgranulate ab Werk sowie die aufbereiteten Mischabbruchgranulate bei den Schadstoffgesamtgehalten wie erwartet schlechter ab als die diversen Sekundärbaustoffe. Auffällig ist, dass die diversen Sekundärbaustoffe im Durchschnitt einen höheren Glühverlust (4.3 Masse-%) haben als die Mischabbruchgranulate. Dieser Sachverhalt ist teilweise auf den Anteil Asphaltgranulat zurückzuführen, da dieser zu einem relativ hohen Teil (ca. 4 bis 5%) aus Bitumen bestehen. Ebenfalls sind die Gehalte an Kohlenwasserstoffen<sub>gesamt</sub> sowie die Summe der PAK höher als bei den Mischabbruchgranulaten. Dies dürfte ebenfalls auf die bituminösen Sekundärbaustoffe zurückzuführen sein. Unter dem Strich gesehen findet man also klar höhere Schadstoffgehalte in den Mischabbruchgranulaten als im Durchschnitt aller übrigen Sekundärbaustoffkategorien.

Die folgende Tabelle 2.1 zeigt eine Beurteilung der Gesamtgehalte der verschiedenen Sekundärbaustoffe. Die Unterteilung resp. Beurteilung wurde anhand der natürlichen Häufigkeit der Elemente in der Erdkruste vollzogen. Die Beurteilung „unproblematisch“ wurde gewählt, falls die Gehalte im Bereich der natürlichen Häufigkeit der Elemente lag. Die Beurteilung „erhöht“ wurde bei aus-



nahmslos stark erhöhten Gehalten in einer jeweiligen Sekundär-  
 baustoffgruppe gewählt.

Parameter	Sekundärbaustoff					
	MG	BG	AG	KSP	KSA	KSB
Glühverlust						
Aluminium						
Chrom ges						
Zink						
Chlorid						
Sulfat						
KW gesamt						
AOX						
PAK						

	unproblematisch
	teilweise erhöht
	erhöht

- MG Mischabbruchgranulat
- BG Betongranulat
- AG Asphaltgranulat
- KSP Recycling-Kiessand P
- KSA Recycling-Kiessand A
- KSB Recycling-Kiessand B



CONSULTEST AG

Tabelle 2.1: Beurteilung der Gesamtgehalte der verschiedenen Sekundärbaustoffe

### Vergleich der Säuleneluat

Auch beim Vergleich der Säuleneluat zeigt sich, dass die Misch-  
 abbruchgranulate höhere Schadstoffgehalte in den Eluat haben  
 als der Durchschnitt der übrigen Sekundärbaustoffe.

Bei den pH-Werten ist der Vergleich etwas schwierig, liegt er doch  
 bei allen Proben im Bereich von 8.5 bis 10. Die elektrische Leitfä-  
 higkeit ist bei den Mischabbruchgranulaten infolge der leicht höhe-  
 ren Gehalte an Chlorid, Sulfat und Ammonium etwas höher als bei  
 den übrigen Sekundärbaustoffen.

Aluminium ist bei den diversen Sekundärbaustoffen am höchsten.  
 Dies ist auf den Gehalt an Aluminium im Betongranulat, Kiessand  
 B und Kiessand A und B zurückzuführen. Da Aluminium vor allem  
 im Zement vorkommt.

Chlorid ist bei den diversen Sekundärbaustoffen deutlich tiefer als  
 bei den Mischabbruchgranulaten.

Ebenso gilt dies für Sulfat. Es ist zu beachten, dass die zum Teil  
 hohen Sulfatwerte in den Mischabbruchgranulaten vom Gips her-  
 rühren, welcher in dieser Sekundärbaustoffkategorie in kleinen  
 Mengen vorhanden ist.

**IMP**

Die Ammoniumgehalte der Mischabbruchgranulate sind höher als die Eluatkonzentrationen der übrigen Sekundärbaustoffe. Dasselbe gilt auch für die Nitrat- und Nitritkonzentrationen sowie auch für die DOC-Gehalte in den entsprechenden Eluaten der jeweiligen Sekundärbaustoffe.

Die Schadstoffe Phenole<sub>gesamt</sub>, Kohlenwasserstoffe<sub>gesamt</sub> und AOX lassen keine Beurteilung zu, da diese Schadstoffe kaum nachgewiesen werden konnten.

Die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) sind wie zu erwarten im Asphaltgranulat nachzuweisen. Alle übrigen enthalten kaum PAK.

Die folgende Tabelle 2.2 zeigt eine Beurteilung der Gehalte an Schadstoffen in den aus den verschiedenen Sekundärbaustoffen erzeugten Säuleneluaten.

Die Beurteilung wurde anhand der Konzentrationswerte der Altlastenverordnung, resp. wo kein Wert verfügbar war, des Schweizerischen Lebensmittelbuch vorgenommen. Die Beurteilung „unproblematisch“ wurde gewählt, falls die Gehalte die Konzentrationswerte unterschritten. Die Bewertung „teilweise erhöht“ wurde für einzelne resp. die Bewertung „erhöht“ für eine ausnahmslose Überschreitung der Konzentrationswerte der Säuleneluate gewählt.

**S C + P**

**CONSULTEST AG**



CONSULTEST AG

Parameter	Sekundärbaustoff					
	MG	BG	AG	KSP	KSA	KSB
pH-Wert						
el. Leitfähigkeit						
Aluminium						
Chrom VI						
Zink						
Chlorid						
Sulfat						
Ammonium						
Nitrat						
Nitrit						
DOC						
Phenole gesamt						
KW gesamt						
AOX						
PAK						

	unproblematisch
	teilweise erhöht
	erhöht

- MG Mischabbruchgranulat
- BG Betongranulat
- AG Asphaltgranulat
- KSP Recycling-Kiessand P
- KSA Recycling-Kiessand A
- KSB Recycling-Kiessand B

Tabelle 2.2: Beurteilung der Eluatgehalte der verschiedenen Sekundärbaustoffe

## 2.4. Gefährdungsabschätzung aus Elua- ten von Sekundärbaustoffen

Die von einem Standort ausgehende Umweltgefährdung ist die Kombination des Gesamtschadstoffpotentials mit dem Freisetzungsverhalten eines Schadstoffes resp. einer Schadstoffgruppe. Der mögliche Einwirkungsort resp. das Zusammenwirken mit dem jeweiligen Schutzgut ist für eine genaue Gefährdungsabschätzung ebenfalls von entscheidender Bedeutung.

Im Falle der Sekundärbaustoffe, wird als Schutzgut das Trinkwasser der Bevölkerung, also das Grundwasser betrachtet. Somit sind die Zuströmbereiche von Grundwasserfassungen in Betracht zu ziehen.

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages wird auch untersucht, wie sich die Verwertung von Sekundärbaustoffen langfristig auf das Grundwasser auswirkt. Das heisst, ob es sich bei Orten wo Sekundärbaustoffe eingesetzt werden, um potentiell belastete Standorte handelt. Deshalb wurde die Untersuchungsliste mit ei-

**IMP**

nigen Parametern aus der Altlastenverordnung (AltIV) ergänzt (Summenparameter: AOX, DOC und  $KW_{\text{gesamt}}$ ; Einzelparameter: Phenole, PAK und leicht flüchtige Lösungsmittel/org. Verbindungen).

Aus den erhaltenen Resultaten dieser Untersuchung und der unter 2.3.3 gemachten Beurteilungen, kann, auf Basis der untersuchten Parameter der Altlastenverordnung (AltIV), von einem teilweise potentiellen Altlastenverursacher bezüglich des Schutzes der Trinkwasservorkommen, ausgegangen werden. Es muss aber erwähnt werden, dass mit einer pauschalen Aussage diesbezüglich, ohne jeweilige Einzelabklärung, sehr vorsichtig umgegangen werden sollte.



**CONSULTEST AG**

**IMP**

### **3. Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Teilprojekt 1a, SC+P)**

---



#### **3.1. Methoden**

Im Teilprojekt 1a wird mit einer Stoffflussanalyse [Lit. 8, 22, Anhang 2] die Massenflüsse der heutigen Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft analysiert. Anhand der Modellierung von Szenarien werden die Auswirkungen verschiedener Entwicklungen bei der Verwendung der Sekundärbaustoffe auf die Schadstoffemissionen in die Umwelt beurteilt.

##### **3.1.1. Systemaufbau für die Stoffflussanalyse**

Der Aufbau des Systems "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft" ist in der Abbildung 3-1: Vereinfachtes System "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft" (siehe folgende Seiten) ersichtlich. Das System fokussiert auf die **Recyclingprozesse der Baustoffbewirtschaftung** (siehe Tabelle 3-1). In diesen Prozessen werden, ausgehend von den Abfallmaterialien aus den Bauprozessen (Mischabbruch/Bausperrgut, Betonabbruch, Ausbausphalt, Strassenaufbruch), die Recyclingbaustoffe hergestellt. Die Definition der Prozesse erfolgte aufgrund der zugeführten Abfallmaterialien (Tab 3-1):

**CONSULTEST AG**



CONSULTEST AG

<b>Recycling-Prozess</b> (Abbildung 3-1)	<b>zugeführter Bauabfall</b>	<b>Beschreibung / Produkte</b>
Sortierung und Aufbereitung	Mischabbruch	Aufbereitung (Brechen) von Mischabbruch, der durch die Triage auf der Baustelle entstanden ist. Produkt: Mischabbruch-Granulat.
	Bausperrgut	Brennbare Komponenten und Metall werden abgetrennt, ebenso Feianteile (MA fein) und eine nicht verwertbare Grobkomponente (MA grob). Produkt: Mischabbruch-Granulat.
Baustoff-Recycling für Betonherstellung	Betonabbruch	Abtrennung der Eisenanteile und nicht verwertbare Komponente (Beton ID). Produkt: Beton-Granulat
Baustoff-Recycling für Belagherstellung	Ausbauasphalt	Nicht verwertbare Komponente: Asphalt ID. Produkt: Asphaltgranulat
Baustoffrecycling für loser Einsatz mit/ohne Abdichtung	Strassenaufbruch	Nicht verwertbare Komponente: Kies ID. Produkte: Recyclingkies A (RC-A), Recyclingkies B (RC-B) und Recyclingkies P (RC-P)

Tabelle 3-1: Recycling-Prozesse der Baustoffbewirtschaftung (vgl. Abbildung 3-1)

Die in der obigen Tabelle beschriebenen Produkte<sup>3</sup> werden innerhalb der Recycling-Prozesse im Hinblick auf ihre Anwendung verteilt (Anwendungs-Prozesse siehe unten). Daraus ergeben sich die im System dargestellten Endprodukte der Recycling-Prozesse, welche nun in die Anwendungen zurückgeführt werden. Zur besseren Verständlichkeit dieser Modellvorstellung dient folgendes Beispiel, welches anhand der Abbildung 3-1 nachvollzogen werden kann:

**Beispiel:** „RC-Produkte Belag“ (Input in Prozess *bituminöser Belag*) ist die Summe aus dem prozessintern hergestellten Asphaltgranulat sowie einem gewissen Anteil RC-Kies aus dem Prozess *Baustoffrecycling* für loser Einsatz mit/ohne Abdeckung).

Bei den Recycling-Prozessen muss der Prozess „Sortierung und Aufbereitung“ speziell erwähnt werden. Die beiden Materialien Bausperrgut und Mischabbruch werden in der grafischen Darstellung der Einfachheit halber beide diesem Prozess zugeführt. Effektiv ist die Aufbereitung für die beiden Materialien aber nicht identisch. Beim Mischabbruch, der durch die Triage auf der Baustelle entsteht und dadurch schon eine mehr oder weniger einheit-

<sup>3</sup> Die verwendeten Produktnamen entsprechen der Systematik der BUWAL-Richtlinie [1]

**IMP****CONSULTEST AG**

liche Zusammensetzung aufweist, besteht die Aufbereitung vorwiegend aus dem Brechen bis zu einer kiesigen Grösse. Die Aufbereitung des Bausperrguts ist dagegen aufwendiger (kompliziertere verfahrenstechnische Abläufe, Abtrennung von nichtmineralischen Fremdkomponenten und nicht verwertbaren Fein- und Grobfractionen).

Der entstehende Sekundärbaustoff wird bei beiden Materialien gleich benannt (Mischabbruchgranulat). Dabei bleibt unberücksichtigt, dass im Falle von Mischabbruch auch alternative Sekundärbaustoffprodukte hergestellt werden können. Als Beispiel sei hier die Herstellung von hydrothermal gehärteten Sandsteinen<sup>4</sup> erwähnt, die aus Ziegelbruch hergestellt werden können. Die Massenflüsse dieser alternativen Sekundärbaustoff-Produkte werden in unserer Systembetrachtung nicht berücksichtigt<sup>5</sup>.

Im Hinblick auf die Frage der Schadstoffauswaschung sind die **Anwendungs-Prozesse<sup>6</sup> in der Baustoffbewirtschaftung** von zentraler Bedeutung. Diese wurden so gewählt, dass sie der Systematik der Verwendungsmöglichkeiten in der BUWAL-Richtlinie [Lit. 4] entsprechen (Tab 3-2):

---

<sup>4</sup> Auch autoklavierte Sandsteine genannt. Dieser Gruppe können auch die geogen entstandenen Kalksandsteine zugeordnet werden.

<sup>5</sup> Ein Vergleich der Resultate (siehe dazu Kap. 3.2.1) mit effektiven Marktmengen zeigt auf, dass diese Massenflüsse im Vergleich zur Verwertung des Mischabbruchs als Granulat von untergeordneter Bedeutung sind.

<sup>6</sup> Für die Namensgebung bei den Anwendungs-Prozessen werden der Einfachheit halber Schlagwörter verwendet. Z.B. müsste in diesem Sinne der Prozess Hochbauten korrekterweise mit „Verwendung der Baumaterialien in den Hochbauten“ angegeben werden.

<b>Anwendungs-Prozess</b> (Abbildung 3-1)	<b>Verwendungsmöglichkeit</b> ge- mäss <b>BUWAL-Richtlinie</b> [Lit 4]		<b>Beschreibung</b>
Hochbauten	Einsatz in gebundener Form	hydraulisch	nur effektive Gebäudesubstanz; Plätze, Strassen etc. sind in den untenstehenden Prozessen berücksichtigt
Beton-Belag	Einsatz in gebundener Form	hydraulisch	Deckschichten aus Beton sowie sämtliche restliche Verwendungen von Beton, welche nicht im Prozess Hochbauten berücksichtigt sind
bituminöser Belag	Einsatz in gebundener Form	bituminös	bituminöse Deckschicht von Strassen und Plätzen
Looser Einsatz mit Abdeckung	Einsatz in loser Form	mit Deckschicht	Koffermaterial von Strassen und Plätzen, unterhalb einer Deckschicht
Looser Einsatz ohne Abdeckung	Einsatz in loser Form	ohne Deckschicht	Koffermaterial von Naturstrassen, Dämme und Hinterfüllungen; je nach Szenario (siehe Kap. 3.1.7) auch: illegale Hinterfüllungen im Bereich Tiefbau, Auffüllungen von Kiesgruben (Szenario 3), Pisten auf Baustellen und Parkplätze (Szenario 4)

Tabelle 3-2: Anwendungs-Prozesse in der Baustoffbewirtschaftung (vgl. Abbildung 3-1)

Die „RC-Produkte Betonherstellung“ werden im Gegensatz zu den anderen Recyclingprodukten nicht direkt einem der obigen Verwendungsprozesse zugeführt. Hier findet noch ein Zwischenschritt (Prozess *Betonherstellung*) statt.

Der Prozess *Illegale Hinterfüllung Hochbau (Illegale Hinterfüllung HB)* wird als Spezialfall der Verwertung von Abfallmaterialien im Hochbau ebenfalls berücksichtigt. Dabei wird angenommen, es handle sich vorwiegend um unbehandelte Abbruch- und Abfallmaterialien (= Vermischtes), welche direkt auf der Baustelle nicht gesetzeskonform verwendet werden. Ihre Qualität bezüglich Schadstoffgehalt wird mit den Materialien „Mischabbruch/Bausperrgut“ gleichgesetzt. Da Hinterfüllungen meist nicht abgedeckt sind, weisen sie ein grosses Auswaschpotenzial auf.

Die Prozesse *Reaktordeponie* und *Inertstoffdeponie* sind die Zielprozesse für die nicht verwertbaren Komponenten aus dem Baustoff-Recycling.

Zu erwähnen ist ferner noch die Inputfraktion „Baumaterialien Hochbau“, welche aus einer Reihe verschiedenartiger Materialien zusammengesetzt ist:

- Steine, Dachdeckmaterialien
- Kunststoffe, Textilien, Dämmstoffe
- Holz
- Metalle
- Grobkeramik, Gips, Glas

**IMP**

Die Zusammensetzung der Fraktion „Baumaterialien Hochbau“ entspricht der Gliederung in der Studie von Wüest + Partner, 2001 [Lit. 1,2].



**CONSULTEST AG**

### 3.1.2. Lager und Lagerraten

Bei einigen Prozessen wurden nebst den Input- und Outputflüssen auch die Lager und die Lagerraten betrachtet. Das Lager eines Prozesses stellt den Gesamtbestand der vorhandenen Materialien innerhalb des Prozesses dar (siehe z.B. Abbildung 3-2: "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft" – Zustand 1997 (Szenario 0), Lager Hochbau CH: 1180 mio t Gebäudesubstanz). Die Lagerrate bezeichnet die jährliche Zunahme des Lagers (z.B. Abbildung 3-2, Lagerrate Hochbau: 33.7 mio t/a).

Im Detail interessierten vor allem die Lager der Prozesse *Losser Einsatz mit Abdeckung*, *Losser Einsatz ohne Abdeckung* und *Illegale Hinterfüllung Hochbauten*. Es wird angenommen, dass von diesen Lagern die massgebenden Schadstofffrachten ins Grundwasser ausgehen (siehe dazu Teilprojekt 1b, Kap. 4).

Ebenfalls betrachtet wurden die Lager der Prozesse *Hochbauten*, *Beton-Belag* und *bituminöser Belag*. Im Gegensatz zu den oben bereits erwähnten Prozessen wird angenommen, sie seien nicht „auswaschungsrelevant“<sup>7</sup>. Jedoch gehören sie ebenfalls zu den Anwendungsprozessen und sind damit mögliche Ressource für künftige Recyclingmaterialien. Ihre Grösse gibt einen Anhaltspunkt über die künftig zu erwartenden Recyclingmaterialmengen.

Nicht betrachtet wurden die Lager innerhalb der Recycling- oder Aufbereitungsprozesse. Hier wurde angenommen, dass diese einerseits klein sind (in Relation zu denjenigen der Anwendungsprozesse) und zudem kein Lagerzuwachs stattfindet (Lagerrate = 0). In diesem Sinne sind sie weder für allfällige Schadstoffauswaschungen noch für die Entwicklung künftiger Mengen als relevant einzustufen. Diese Annahme (keine Auswaschung von Schadstoffen) trifft natürlich zu, wenn die Zwischenlagerung von Roh- und Fertigprodukten gesetzeskonform, d.h. auf befestigten Plätzen mit Kanalisationsanschluss geschieht.

Ebenfalls nicht betrachtet werden die Lager nicht verwertbarer Komponenten der Bauabfälle, die in den Deponien abgelagert werden. Wir gehen davon aus, dass diesen Materialien kein Po-

<sup>7</sup> Hier sei nochmals auf die Systemabgrenzung (siehe dazu Kap. 1.2) hingewiesen, d.h. auf den Fokus auf die kiesähnlichen, mineralischen Sekundärbaustoffe. Schadstoffauswaschung bei Sekundärbaustoffen kann aber auch in anderer Form stattfinden, z.B. im Hochbau bei der Verwendung von metallischen Sekundärbaustoffen als Dachbelag (Kupfer oder Zink).

**IMP**

tenzial für eine spätere Wiederverwertung zugesprochen werden kann. Infolgedessen haben diese Materialien auch keinen Einfluss mehr auf die Grösse der Massenflüsse im System der Sekundärbaustoffe.

Bezüglich der Schadstofffreisetzung gehen wir davon aus, dass diese Materialien in TVA-konformen Deponiestandorten abgelagert werden. Sowohl bei Reaktor- wie bei Inertstoffdeponien kann dabei angenommen werden, dass ein Austritt von belastetem Deponiesickerwasser ins Schutzgut Grundwasser wirksam verhindert wird.



**CONSULTEST AG**

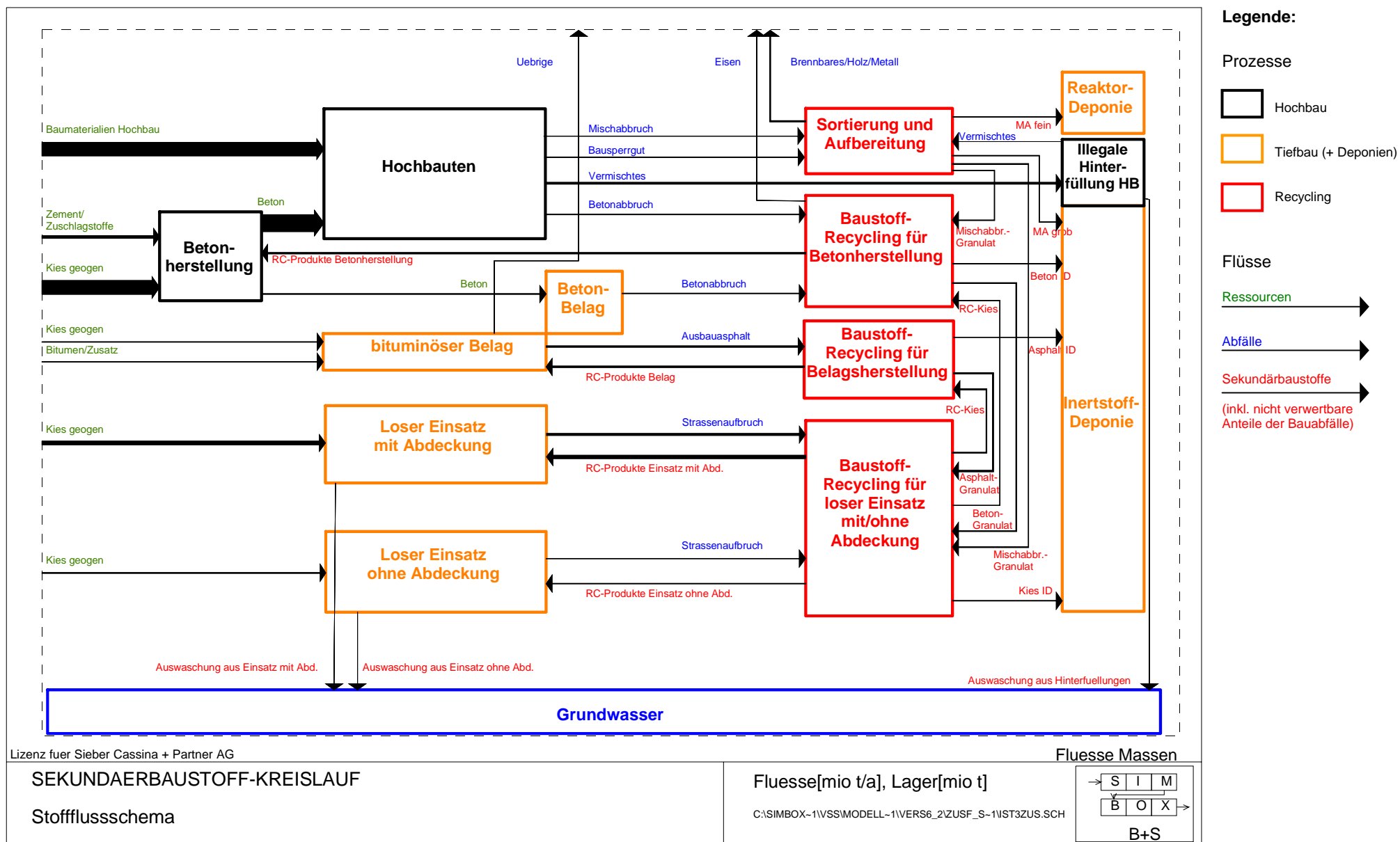


Abbildung 3-1: Vereinfachtes System "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft"

**IMP**



**CONSULTEST AG**

### 3.1.3. Datengrundlagen

Die Massenflüsse in Abb. 3-1 weisen durch ihre Farbe auf die Datenherkunft hin. Die Daten zu den Ressourcen (grün) stammen aus schweizerischen Verbrauchsstatistiken verschiedener Verbände des Bausektors (z.B. Abbruch-, Aushub und Recyclingverband ARV, Verband schweizerischer Transportbetonhersteller VSTB, Fachverband für Sand + Kies FSK, u.a.) Die Werte der Abfallflüsse (blau) sind der Studie von Wüest + Partner [Lit. 1, 2] entnommen. Eine detaillierte Auflistung der Datenquellen für die einzelnen Flüsse befindet sich in Anhang 2.

Die Sekundärbaustoffflüsse (rot) sind berechnet. Dabei wurden verschiedene zeitliche Zustände (siehe Kap. 3.1.6) und Szenarien unterschieden (siehe Kap. 3.1.7). Die Verteilung der Sekundärbaustoffe aus den Aufbereitungsprozessen in die verschiedenen Anwendungen oder in die Deponien wurden dazu je nach Szenario variiert. Die mathematische Modellierung und die Berechnung der verschiedenen Zustände und Szenarien erfolgte mit dem Stoffflussprogramm SIMBOX [Lit. 22]. Das mathematische Modell ist in Anhang 2 im Detail beschrieben.

Zur Plausibilisierung der Resultate wurden in einem iterativen Vorgang zuerst die berechneten Werte mit Angaben aus der Realität (soweit vorhanden) verglichen und darauf die Berechnungsparameter angepasst. Die Überlegungen zur Plausibilität der Resultate sind den entsprechenden Unterkapiteln des Kapitel 3.2 zu entnehmen. Die für die Endresultate verwendeten Berechnungsparameter können in Anhang 2 nachgeschlagen werden.

### 3.1.4. Systemgrenzen

Nebst der generellen Systemabgrenzung (siehe dazu Kap. 1.2) wurden weitere Materialflüsse des Systems Baubewirtschaftung nicht berücksichtigt. Im wesentlichen sind dies folgende Güter und Prozesse:

- Zementproduktion (stofflicher Beitrag durch Inputgut *Zement* berücksichtigt)
- unverschmutzter Aushub (falls als Baustoff verwendet enthalten in *Kies/Kiessand geogen*)
- verschmutzter Aushub (als Spezialfall nicht berücksichtigt)
- Sonderabfälle (kein Einfluss auf Baustoffrecycling bei korrekter Handhabung)
- Bruchstein/Schotter aus Bahnnetz
- Behandlung der Abfälle aus der Bausperrgut-Sortierung (Brennbares KVA, Holz, Metalle etc.).
- Industrielle Nebenprodukte (Schlacken etc.)

**IMP**

### 3.1.5. Indikatoren

Mit der Auswahl von Indikatoren kann in einem Stoffflusssystem eine systemtypische Eigenschaft besonders betrachtet und hervorgehoben werden. Oftmals wird diese Betrachtung in einer Stoffflussanalyse auf der Ebene von einzelnen Elementen durchgeführt<sup>8</sup>. Im Rahmen dieser Arbeit wurden für die zu erwartenden *Auswaschungen ins Grundwasser* eine ganze Reihe von Elementen bzw. deren chemischen Verbindungen untersucht (siehe dazu Teilprojekt 1b, Kap. 4). Die Bestimmung des Verlaufs der Stoffflüsse der einzelnen Parameter im gesamten Umfang des Stoffflusssystems (Abbildung 3-1) konnte jedoch nicht erfolgen. Für eine vollständige Bestimmung wären weitergehende analytische Untersuchungen notwendig gewesen, die den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätten.

Die vorliegende Stoffflussanalyse beschränkt sich somit auf die Erfassung und Darstellung der Massenflüsse, d.h. auf die Betrachtung des Indikators „Masse“. Aufgrund des bekanntermassen grossen Materialumsatzes in der Baubranche kann dieser Indikator durchaus als zentral für das System der Baustoffbewirtschaftung angesehen werden.

### 3.1.6. Zeitliche Zustände

Zur Beantwortung der Fragestellung, wie sich längerfristig die Baustoffzusammensetzung durch Recycling verändert, werden drei Zustände betrachtet:

#### 1997:

Für den Zustand 1997 wurden die Massenflüsse, soweit möglich, gemäss der aktuellen Situation im Jahr 1997 bestimmt. Fehlten dazu notwendige Informationen, wurden entsprechende Annahmen getroffen. Dabei wurde stets davon ausgegangen, dass die gesetzlichen Vorgaben für die Verwertung von mineralischen Bauabfällen eingehalten werden [Lit. 4]. Die Datenquellen und die getroffenen Annahmen sind aus Anhang 2.2 ersichtlich.



**CONSULTEST AG**

<sup>8</sup> z.B. wäre in einem Stoffflusssystem, welches sich mit der Landwirtschaft und den Auswirkungen derselben auf die Gewässer beschäftigt, das Element Phosphor ein einleuchtendes Beispiel für einen Indikatorstoff, vgl. dazu auch Lit. [8], S. 47 ff

**IMP**



### **2010:**

Die Abfallflüsse werden bis ins Jahr 2010 gemäss den Vorgaben der Studie von Wüest + Partner [Lit. 1, 2] erhöht. Darin wird eine Erhöhung der Abfallmenge aus dem Hochbau um 38% sowie aus dem Tiefbau um 3% prognostiziert. Das Wachstum in den Anwendungsprozessen wird gleich beibehalten. Der jährliche Zuwachs des Lagers (in absoluten Zahlen) wird bis ins Jahr 2040 als konstant angenommen.

### **2040:**

Im Zustand 2040 werden die prognostizierten Verhältnisse in 40 Jahren umschrieben. Dabei wird ein gleiches mittleres Wachstum der Abfallflüsse angenommen wie zwischen Zustand 1997 und Zustand 2010. Wir gehen davon aus, dass sich der Strassenbestand (Lager der Prozesse *bituminöser Belag*, *Loser Einsatz mit Abdeckung*, *Loser Einsatz ohne Abdeckung*) zu diesem Zeitpunkt praktisch nicht mehr vergrössert.

Gemäss der Studie Wüest & Partner ([Lit 1, 2], Seite 23) werden schwer belastete Strassen nach rund 30 Jahren Gebrauchsdauer einer grundlegenden Erneuerung unterzogen.

**CONSULTEST AG**

### **3.1.7. Definition der Szenarien**

Die Betrachtung verschiedener Szenarien hat ein genaueres Systemverständnis des Sekundärbaustoffkreislaufs zum Ziel und bildet die Grundlage für Optimierungs- und Steuerungsvorschläge auf Basis der Massenflüsse. Es wurden bewusst extreme Szenarien gewählt, deren Ursprung in einschneidenden marktwirtschaftlichen oder umweltpolitischen Veränderungen begründet ist. Die wichtigsten Merkmale der einzelnen Szenarien sind in der folgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt, bzw. werden in den folgenden Unterkapiteln noch eingehender beschrieben. Die detaillierte Zusammenstellung der Berechnungsparameter der einzelnen Szenarien können dem Anhang 2.2 entnommen werden.



Abkürzungen:  
 SB: Sekundärbaustoffe  
 RD: Reaktordeponie  
 ID: Inertstoffdeponie

CONSULTEST AG

Vollzug	Szenarien	Beschreibung
	Szenario 0 (IST-Zustand)	Entspricht den SB-Flüssen im IST-Zustand, je nach Zeithorizont aufgrund erhöhter Abfallmengen grössere Massenflüsse
Vorschriftsmässig (gemäss BUWAL-Richtlinie [Lit. 1])	Szenario 1: „maximale Ressourcenschonung“	Die Recyclingmaterialien, die im IST-Zustand noch in der Deponie entsorgt wurden, werden nun vollumfänglich wiederverwertet
	Szenario 2: „maximaler Grundwasserschutz“	Möglichst maximaler Einsatz der Recyclingbaustoffe in gebundener Form (Beläge, Hochbauten)
Nicht vorschriftsmässig	Szenario 3: „Zusammenbruch Aufbereitung“	Nur noch Grobtriage der Mischabbrüche auf der Baustelle, mengenmässige Verwertung soweit wie möglich im losen Einsatz
	Szenario 4: „unsorgfältige Verwertung“	Aufbereitung funktioniert noch, jedoch nicht gesetzeskonforme Anwendung der Recyclingprodukte

Tabelle 3-3: Übersicht Szenarien

Die aufgrund dieser Szenarienannahmen berechneten Massenflüsse werden zudem für die Abschätzung der Zusammensetzungen der Lager in den einzelnen Prozessen verwendet (Anteile der verschiedenen Sekundär- bzw. Primärbaustoffe). Diese Zusammensetzungen bilden die Grundlage für die Berechnung der Auswaschung von Schadstoffen ins Grundwasser (siehe Teilprojekt 1b, Kap. 4).

### a) Szenarien unter der Annahme, dass der vorschriftsmässige Vollzug gewährleistet ist

Die Vorgaben für die Verwertung der Sekundärbaustoff-Produkte gemäss der BUWAL-Richtlinie [Lit. 1] werden für die Szenarien 0, 1 und 2 als erfüllt angenommen.

#### **Szenario 0: „business as usual“**

Im Szenario 0 werden die Massenflüsse der Sekundärbaustoffe gemäss den effektiv festgestellten Verhältnissen im Zeitpunkt 1997 dargestellt. Für die Zustände 2010 und 2040 wird mit insgesamt grösseren Mengen gerechnet, die Verteilung der Recyclingbaustoff-Mengen auf die verschiedenen Anwendungsprozesse bleibt aber gleich.

#### **Szenario 1: „maximale Ressourcenschonung“**

Eine maximale Ressourcenschonung wird erreicht, wenn sämtliche Sekundärbaustoff-Produkte in den verschiedenen Anwendungen wieder verwertet werden. Dazu werden in Szenario 1 die Materialflüsse in die Inertstoffdeponie aufgehoben. Die Recyclingbaustoff-Flüsse in die verschiedenen Anwendungen werden da-

**IMP**



**CONSULTEST AG**

durch entsprechend höher (die Verteilung der Mengen erfolgt weiterhin nach den beim Zustand 1997 festgestellten Verhältnissen). Der Ablagerungsstopp auf die Inertstoffdeponie führt zu einer Erhöhung der Materialflüsse auf die Reaktordeponie aufgrund verfeinerter Triageprozesse des bisherigen Inertmaterials. Materialien, welche qualitative Unsicherheiten aufweisen, gelangen dabei vermehrt in der Reaktordeponie zur Ablagerung.

### **Szenario 2: „maximaler Grundwasserschutz“**

Bei der Verwertung von Sekundärbaustoffmaterialien in gebundener Form treten keine oder nur vernachlässigbare Schadstoffemissionen infolge von Auswaschungsprozessen auf. Um einen maximalen Grundwasserschutz zu erreichen werden deshalb im Szenario 2 die Materialflüsse in den Prozess *bituminöser Belag* (Recyclingkies-A, Recyclingkies-P) sowie in den Prozess *Betonherstellung* maximiert.

Im Prozess *bituminöser Belag* gehen wir dabei von einer technischen Einbaugrenze von Sekundärbaustoffmaterialien von 60% gegenüber 40% geogenem Kies aus. Im Prozess Betonherstellung wird Betongranulat, Mischabbruchgranulat und Recyclingkies-B zu 100% sowie Recyclingkies-P zu 50% verwertet. Das Verhältnis zwischen Sekundärbaustoffmaterialien und geogenem Kies und Zement/Zusatzstoffe beträgt somit unter Szenario 2 30% gegenüber rund 10% im Zustand 1997 (Szenario 0). Wir nehmen an, dass dieser Anteil Sekundärbaustoffe im Prozess *Betonherstellung* technisch umsetzbar ist. Wir sind uns dabei bewusst, dass die Voraussetzung dazu ein Umdenken im Bereich Betonqualität ist. Es braucht die Bereitschaft von Bauherren und Ingenieuren/Architekten, „farbige“ Betonqualitäten differenziert einzusetzen.

Die nach dieser Maximierung übrigbleibenden Materialanteile werden im Prozess *loser Einsatz mit Abdeckung* eingesetzt. Die Materialflüsse in die Deponien werden gemäss Szenario 0 beibehalten.

### **b) Szenarien unter der Annahme, dass der vorschriftsmässige Vollzug nicht eingehalten wird**

In den Szenarien 3 und 4 werden die Vorgaben der Vollzugsrichtlinie [Lit. 4] nicht mehr eingehalten.

### **Szenario 3: „Zusammenbruch Aufbereitung“**

Im Szenario 3 wird davon ausgegangen, dass aus wirtschaftlichen Gründen keine Aufbereitung von Sekundärbaustoffen stattfindet. Auf der Baustelle werden in einer Grobtriage im Gegensatz zu einer zweistufigen Sortierung/Trennung (wie Annahme IST-Zustand), nur noch Materialien die offensichtlich eine Baustoffver-

**IMP****CONSULTEST AG**

wertung behindern (Eisen, Kunststoffe, brennbare Bauabfälle, Holz, Metall) vom Mischabbruch getrennt. Der *Prozess Sortierung und Aufbereitung* stellt unter Szenario 3 nur noch einen Triageprozess dar. Das in die Anwendungen zurückfliessende Mischabbruchgranulat weist dadurch deutlich grössere Schadstoffgehalte auf.

Der Materialfluss von Mischabbruch Grob- und Feinteilen in die Reaktordeponie sowie in die Inertstoffdeponie fallen weg. Die in der Grobtriage entfernten Materialien werden in den entsprechenden Entsorgungseinrichtungen (bsp. KVA) entsorgt.

Die Verwertung der Bauabfälle erfolgt zu praktisch 100% im Prozess *loser Einsatz ohne Abdeckung* (Anwendungen: Hinterfüllung, Auffüllung von Kiesgruben). Aufgrund der fehlenden Aufbereitungsprozesse sind keine Qualitätsprodukte mehr im Umlauf. Die Abfallstoffe werden deshalb nicht mehr in die *Prozesse loser Einsatz mit Abdeckung* sowie *bituminöser Belag* eingesetzt. Eine Ausnahme bildet ein Anteil des Strassenaufbruchs, welcher (als schlechte Qualität Recyclingkies-A) aus dem Strassenrückbau direkt wieder in den Strassenkoffer sowie in den Belag eingebaut wird, ohne dass eine Aufbereitung des Materials erfolgt.

#### **Szenario 4: „unsorgfältige Verwertung“**

Im Szenario 4 werden die Auswirkungen eines „falschen“ Einsatzes der Sekundärbaustoff-Materialien betrachtet (bsp. Einsatz von Mischabbruchgranulat oder Recycling-Kies A im *Prozess loser Einsatz ohne Abdeckung* entgegen den gesetzlichen Bestimmungen [Lit. 4]).

Der Antrieb für eine unsorgfältige Verwertung ist ein Preisvorteil, welcher aus einem vermehrten Absatz von Materialien im Qualitätsgrenzbereich entsteht. Da es sich bei Sekundärbaustoff-Materialien aber nach wie vor um aufbereitete Wertstoffe handelt, findet eine unsorgfältige Verwertung nur in Anwendungen statt, welche finanziell abgegolten werden (Anwendungen: Pisten auf Baustellen, Parkplätze ohne Abdeckung).

Die Materialflüsse in die Deponien entsprechen der Verteilung der Materialien im Zustand 1997. Die Abschätzung der gesamten Materialmenge, welche entgegen den gesetzlichen Bestimmungen im Prozess *loser Einsatz ohne Abdeckung* eingesetzt wird, basiert auf der Inputmenge von geogenem Kies, d.h. die Massenflüsse der Sekundärbaustoffmaterialien in den Prozess wurden soweit erhöht, bis der Input von geogenem Kies auf 0 mio t/a zurückgeht. Dabei wurde das am stärksten belastete Material (Mischabbruchgranulat) maximiert.

**IMP**

## **3.2. Resultate und Diskussion**

### **3.2.1. Zustand 1997 (Szenario 0)**

Die Massenflüsse im Zustand 1997 (Szenario 0) können der folgenden Abbildung 3-2 entnommen werden:



**CONSULTEST AG**

Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Stoffflussanalyse, Teilprojekt 1a)

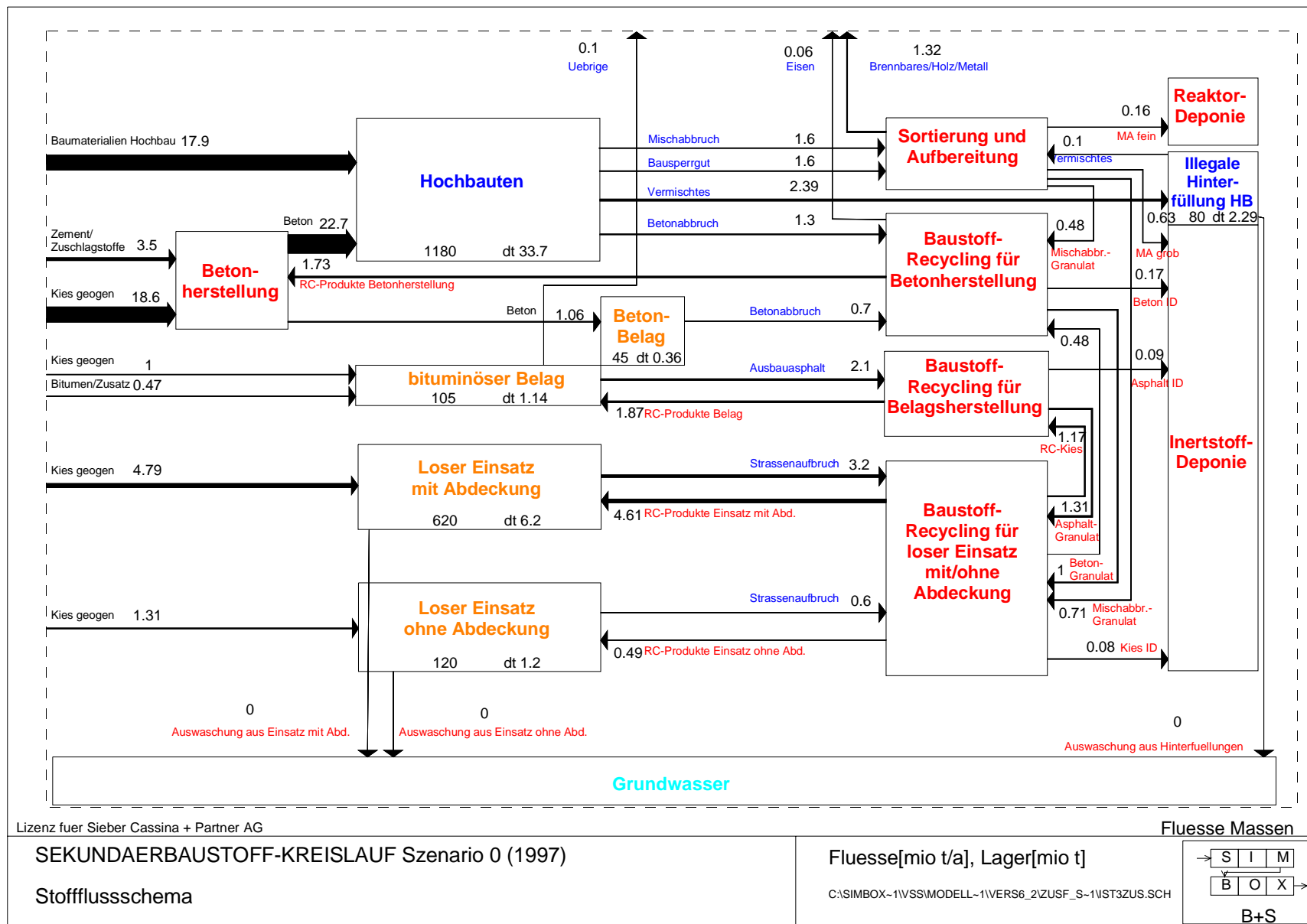


Abbildung 3-2: "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft" – Zustand 1997 (Szenario 0)

Im Zustand 1997 (Szenario 0) werden den Aufbereitungsprozessen total 11.2 mio t/a Bauabfälle zugeführt. Daraus werden Sekundärbaustoffprodukte im Umfang von 8.7 mio t/a (78%) aufbereitet. Basierend auf der Annahme, dass alle aufbereiteten Sekundärbaustoff-Produkte verwertet werden, gelangen die Produkte gemäss der dargestellten Verteilung in Abbildung 3-4 in die Prozesse *Betonherstellung*, *bituminöser Belag/Betonbelag*, *Losereinsatz mit Abdeckung* sowie in *Losereinsatz ohne Abdeckung* (vgl. dazu auch Tabelle 3-8).

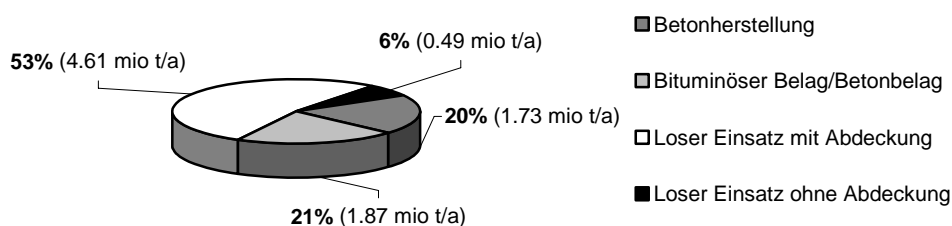


Abbildung 3-3: Verwertungsanteile der Sekundärbaustoff-Produkte auf die verschiedenen Anwendungsprozesse

Rund 1.5% (0.16 mio t/a: MA fein) der anfallenden Bauabfälle gelangen auf die Reaktordeponie. 8.7% (0.97 mio t/a: MA grob, Beton ID, Asphalt ID, Kies ID) werden auf der Inertstoffdeponie abgelagert. Der Rest gelangt in andere Entsorgungsprozesse (11.8% Brennbare/Holz/Metall, Eisen und Übrige, total 1.48 mio t/a).

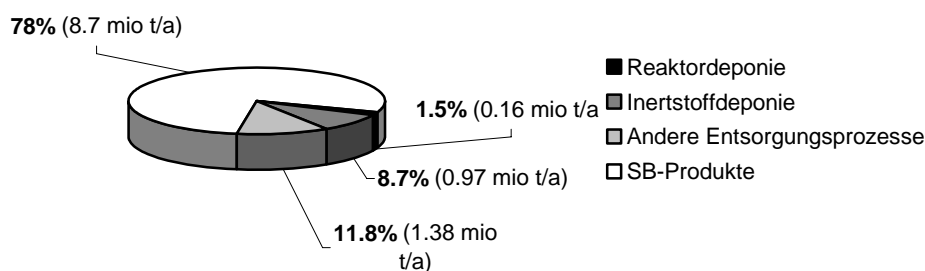


Abbildung 3-4: Verteilung der Bauabfall-Anteile auf die verschiedenen Entsorgungsprozesse

Die blau und grün gefärbten Massenflüsse (gemäss Kapitel 3.1.3.) entsprechen den effektiven Verhältnissen. Die rot gefärbten Massenflüsse stellen Modellannahmen dar. Bei der Modellierung des Sekundärbaustoff-Kreislaufes sind wir davon ausgegangen, dass die auf dem Markt vorhandenen Sekundärbaustoff-Produkte auch verwertet werden können. Diese Annahmen wurden einer Plausibilitätsprüfung unterworfen.

### Plausibilitätsüberlegungen

Wie bereits in Kapitel 3.1.7 erwähnt, wird im Szenario 0 versucht, die Massenflüsse gemäss den effektiv festgestellten Verhältnissen darzustellen. Wir bezeichnen dies aber nicht als „Ist-Zustand“, sondern behalten den Ausdruck „Szenario“ bewusst bei, da unser Modell den Ist-Zustand niemals ganz genau abbilden kann.

Im folgenden möchten wir anhand von Vergleichen mit effektiv festgestellten Daten die Plausibilität der Modellresultate beurteilen.

**a) Plausibilität Inputmaterialien und Abfälle**

Die grün und blau gefärbten Massenflüsse (siehe Abb. 3-1, Kapitel 3.1.3.) entsprechen den Inputmaterialien bzw. den Abfällen aus den Anwendungsprozessen. Diese Massenflüsse wurden bei der Modellierung bereits an die effektiven Verhältnisse angeglichen (Ausnahme: geogener Kies, mehr dazu weiter unten), dementsprechend ergeben sich hier auch keine Abweichungen.

**b) Plausibilität Deponieanteile**

Für die Verteilung der Deponieanteile wurden nachstehende Annahmen getroffen. Die %-Anteile zeigen den Anteil des Bauabfalles, der auf die Deponien gelangt.

Abfallmaterial	Inertstoffdeponie		Reaktordeponie	
	[%]	[Mio t/a]	[%]	[Mio t/a]
Mischabbruch/ sperrgut	19%	0.63	5%	0.16
Ausbauasphalt	4%	0.09	0%	0
Betonabbruch	9%	0.17	0%	0
Strassenaufbruch	2%	0.08	0%	0
Total		0.97		0.16

Tabelle 3-4: Annahmen für die Verteilung der einzelnen Materialien auf die Deponien und daraus entstehende Massenflüsse

Die sich daraus ergebenden, total deponierten Materialmengen (Inertstoffe 0.97 mio to/a, Reaktorstoffe 0.16 Mio to/a) wurden mit bekannten Deponiemengen des Kantons Solothurn verglichen (vgl. Anhang 2). Die Übereinstimmung der beiden Werte ist gut. Die Materialmenge, welche im Berechnungsmodell in die Deponien gelangt, kann somit als plausibel beurteilt werden.

**c) Plausibilität Verwertung**

Die jährliche Menge Sekundärbaustoffprodukte welche im Modell des Baustoffkreislaufs zur Verfügung steht, ergibt sich aus der totalen Menge der Abfälle (siehe a), abzüglich der Mengenanteile, welche aus den Aufbereitungsprozessen in die Deponien verlagert (siehe b) bzw. über andere Entsorgungsprozesse aus dem System entfernt werden (siehe auch Abbildung 3-4).



Für die Verteilung dieser Produkte auf die verschiedenen Anwendungsprozesse wurden Annahmen getroffen oder technische Rahmenbedingungen berücksichtigt. In einer Anfrage beim ARV (Schweizerischer Abfall- und Recyclingverband) wurden die effektiv auf dem Markt abgesetzten Mengen an Recyclingbaustoffen in Erfahrung gebracht. In der folgenden Tabelle sind die Modellresultate sowie die Absatzmengen des ARV zusammenfassend dargestellt:

RC-Material	Verwertung in Prozess	Modellresultate	Absatzmengen ARV	Differenz Modell - Absatz	In % der Modellresultate
		[mio t/a]	[mio t/a]	[mio t/a]	[%]
Betongranulat	Betonherstellung	0.85	0.54	+0.31	37%
	Loser Einsatz mit Abdeckung	0.92	0.81	+0.11	12%
Asphaltgranulat	Bituminöser Belag	0.86	0.49	+0.37	43%
	Loser Einsatz mit Abdeckung	1.16	0.32	+0.84	72%
Mischabbruchgranulat	Betonherstellung	0.48	0.43	+0.05	10%
	Loser Einsatz mit Abdeckung	0.71	0.65	+0.06	8%
<b>Total</b>		<b>4.98</b>	<b>3.24</b>	<b>+1.74</b>	<b>35%</b>
Recyclingkies	verteilt auf alle als RC-A	2.39	1.51	+0.88	37%
	verteilt auf alle als RC-B	0.91	0.65	+0.35	40%
	verteilt auf alle als RC-P	0.42	0	+0.42	100%
<b>Total</b>		<b>3.72</b>	<b>2.16</b>	<b>+1.56</b>	<b>42%</b>
<b>GESAMT-TOTAL</b>		<b>8.7</b>	<b>5.4</b>	<b>+3.3</b>	<b>38%</b>

Tabelle 3-5: Resultate der Verteilungsannahmen („Modellrechnung“) und Vergleich mit Absatzwerten (Angaben von Hr. Staub, schweizerischer Abfall- und Recyclingverband ARV) für die Materialien Betongranulat, Asphaltgranulat, Mischabbruchgranulat und für Recyclingkies; Gesamttotal über alle Materialien; die %-Angabe zeigt, wieviel der Materialmenge aus der Modellrechnung nicht direkt den Absatzmengen zugeordnet werden kann.

Die vom ARV erhobenen Absatzmengen liegen überall tiefer als die gemäss Modell vorhandenen Mengen im System. Generell sind für diesen Trend folgende drei Gründe denkbar:

- in den Aufbereitungsprozessen werden Lager aufgebaut, d.h. die zur Verfügung stehenden Sekundärbaustoffe werden nicht innerhalb einer Zeitspanne wieder eingesetzt, die zu einer

**IMP**



**CONSULTEST AG**

ausgeglichenen Massenbilanz in den Aufbereitungsprozessen (Input = Output) führen würde. Dieser Zustand dürfte aber kaum längere Zeit andauern, da die Platzverhältnisse der Recyclingbetriebe beschränkt sind. Aus diesem Grund wurden im Modell bei keinem Szenario ein Lagerzuwachs berücksichtigt.

- Die vom ARV gelieferten Mengenangaben umfassen vermutlich nur Recyclingmaterialien, die die in der Vollzugsrichtlinie geforderten Qualitäten aufweisen und in den dort vorgesehenen Anwendungen eingesetzt werden. Es muss deshalb angenommen werden, dass bereits heute die Verwertung eines beträchtlichen Teils der Bauabfälle nicht entsprechend den gesetzlichen Rahmenbedingungen erfolgt. Die Auswirkungen davon werden in den Modellrechnungen der Szenarien 3 und 4 aufgezeigt.
- die Erfassung der Absatzmengen beim ARV ist auch bei den zulässigen Verwertungen nicht vollständig

Bei einigen Materialien sind die Abweichungen beträchtlich und können vermutlich nicht allein mit den oben aufgeführten Gründen erklärt werden. Für die einzelnen Materialien haben wir weitergehende Plausibilitätsüberlegungen angestellt. Diese sind in der folgenden Auflistung zusammengestellt:

#### **Betongranulat:**

Das Verhältnis zwischen dem Einsatz des Betongranulats in der Betonherstellung und im losen Einsatz mit Abdeckung zeigt bei den Modellresultaten sowie bei den Absatzmengen einen höheren Anteil auf der Seite des losen Einsatzes und ist deshalb plausibel.

Die Abweichung des Modellresultats zum Absatzwert beträgt insgesamt rund 25%. Wir führen diese Abweichung auf die oben erläuterten Gründe zurück.

#### **Asphaltgranulat:**

Der Asphaltgranulatfluss in die Belagsherstellung (Prozess *bituminöser Belag/Betonbelag*) wurde im Modell bewusst eingeschränkt, da hier eine technische Grenze besteht (Recyclingmaterialanteil bei der Herstellung von Belag). Die berechneten 0.86 Mio to pro Jahr entsprechen einem Anteil von 35% und liegt damit in einem plausiblen Bereich<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Der einsetzbare Anteil Asphaltgranulat in der Belagsherstellung (Prozess *bituminöser Belag/Betonbelag*) ist durch technische Rahmenbedingungen begrenzt und liegt bei ca. 30-40% (Informationen IMP Bautest AG, ARV). Der Anteil an Asphaltgranulat (rezyklierter Ausbausphalt) ist hauptsächlich von den Qualitätsanforderungen an neue Beläge abhängig. Bei den Heissmischverfahren werden aufgrund der aktuellen Qualitätsanforderungen ca. 10-40% Asphaltgranulat beigemischt (Informationen Belagsaufbereitung Rubigen, IMP Bautest AG).

**IMP**



**CONSULTEST AG**

Gesamthaft beträgt der Anteil an Sekundärbaustoff-Produkten (Summe Asphaltgranulat, Betongranulat und Recyclingkiese) im Prozess *bituminöser Belag* 55%. Wir erachten auch diesen Anteil noch als plausibel.

Der Rest des wiederverwerteten Asphaltgranulats gelangt im Modell in den Prozess *Looser Einsatz mit Abdeckung*. Insgesamt beträgt die Abweichung in den Modellresultaten gegenüber den Absatzmengen rund 60%. Hier ist zu beachten, dass in den Modellresultaten jeweils die Asphaltmengen, welche direkt auf der Baustelle wieder eingesetzt werden (direkt verwertete Anteile bei Erneuerungsarbeiten) enthalten sind. Gemäss der BUWAL-Studie [Lit. 1] beträgt dieser Anteil im Fall von Asphaltgranulat rund 1.4 Mio to pro Jahr. Es ist anzunehmen, dass ein grosser Teil dieser Menge bei den Absatzzahlen des ARV nicht berücksichtigt wurde<sup>10</sup>. Die Mengen liegen damit gesamthaft wohl ebenfalls in einer plausiblen Grössenordnung.

#### **Recyclingkiese:**

Für die Aufbereitung der verschiedenen Kiesqualitäten wurde eine Verteilung zwischen RC-A: RC-B: RC-P von 60%: 30%: 10% angenommen. Diese Verteilung bestätigt sich im wesentlichen in den Absatzmengen, wobei hier auffällt, dass die Absatzmenge für RC-P mit null angegeben wird.

Analog zum Asphaltgranulat gilt es zu beachten, dass in den Modellresultaten der Anteil direkt verwerteter Sekundärbaustoffe auf der Baustelle enthalten ist (ca. 3.3 Mio to pro Jahr gemäss [Lit. 1]), bei den Absatzmengen jedoch nur unvollständig. Dies lässt annehmen, dass RC-P vor allem in direkt verwerteter Form anfällt. Ebenfalls lässt sich damit die insgesamt grosse Abweichung von 42% der Modellresultate gegenüber den Absatzzahlen erklären. Unter Berücksichtigung dieser Gegebenheiten beurteilen wir die Modellresultate auch bei den Recyclingkiesen als plausibel.

Der Anteil Recyclingmaterialien im Strassenkoffereinbau (Prozesse *Looser Einsatz mit und ohne Abdeckung*) beträgt insgesamt rund 45%. Aufgrund tatsächlicher Beobachtungen beim Strassenbau kann auch dieser Anteil als plausibel beurteilt werden.

#### **Mischabbruchgranulat:**

Die Modellresultate stimmen beim Mischabbruchgranulat sowohl in den Verteilung auf die Prozesse Betonherstellung und loser Einsatz mit Abdeckung sowie in den Gesamtmengen recht gut überein. Die wenig höheren Mengen bei den Modellresultaten lassen sich vermutlich mit den oben aufgeführten allgemeinen Grün-

<sup>10</sup> Vermutung von Hr. Staub, ARV, telefonisch bestätigt.



den erklären. Die Modellresultate erachten wir deshalb als plausibel.

#### d) Plausibilität Kiesverbrauch

Als weitere Kontrollgrösse für die Massenflüsse im Sekundärbaustoffsystem haben wir den geogenen Kiesinput in das System berücksichtigt („Marktsituation“ gemäss ARV, 1995):

Prozess	Kiesinput in Modellrechnung	Kiesinput Marktsituation	Differenz gegenüber Marktsituation
	[mio t/a]	[mio t/a]	[mio t/a]
Betonherstellung	18.6	*	-
Bituminöser Belag	1	*	-
Loser Einsatz mit Abdeckung	4.79	*	-
Loser Einsatz ohne Abdeckung	1.31	*	-
<b>Total</b>	<b>25.7</b>	<b>32.6</b>	<b>-6.9</b>

Marktsituation:  
keine detaillierten Angaben zur Verteilung vorhanden (\*)

CONSULTEST AG

Tabelle 3-7: Vergleich geogener Kiesinput gemäss Modellrechnung mit effektivem Marktwert (Angabe ARV, 1995)

Die Abweichung des Modellresultates ist mit rund 20% beträchtlich. Im Modell wird der geogene Kiesinput berechnet aus dem Wachstum (Lagerzuwachs der Verwertungsprozesse) abzüglich den eingesetzten Sekundärbaustoffen. Anders gesagt ergeben sich bei grösseren Sekundärbaustoffmengen kleinere geogene Kiesmengen. Die Modellresultate für die Verwertung der Sekundärbaustoffe erachten wir aber insgesamt als plausibel (siehe c).

Als Grund für die zu tiefe Berechnung des geogenen Kiesinputs im Modell kommt somit die Annahme eines etwas höheren Lagerwachstums in Betracht. Bei einem durchschnittlichen Lagerwachstum von ca. 1.8% statt der angenommenen 1% (Prozesse *Betonbelag*, *bituminöser Belag*, *Loser Einsatz mit Abdeckung* / *ohne Abdeckung*) würde sich im Modell ein geogener Kiesinput in der Grösse des Marktwertes ergeben.

#### e) Plausibilität Lagerraten

Ein Anhaltspunkt für die Annahme der Lagerrate des Hochbaus über 2% bildet der Zementverbrauch, welcher stark mit dem Wachstum des Hochbaubestandes gekoppelt ist. Mit einer Annahme der Lagerrate Hochbau von 2.8% kommt der Zementverbrauch im Modell in die Grössenordnung des effektiven Zementverbrauches zu liegen. Die Lagerrate im Bereich Hochbau erachten wir deshalb als plausibel. Sie wurde den Berechnungen aller weiteren Szenarien und zeitlichen Zustände zugrundegelegt.

**IMP**



**CONSULTEST AG**

Im Tiefbau (Prozesse *Betonbelag, bituminöser Belag, Loser Einsatz mit/ohne Abdeckung*) ist die Annahme einer Lagerrate von 1% für den Zustand 1997 etwas zu klein. Der geogene Kiesverbrauch wird dadurch unterschätzt (siehe d)). Die Lagerrate stellt im Sekundärbaustoff-Kreislauf eine sensitive Grösse dar. Bereits kleine Änderungen an der Lagerrate eines Prozesses wirken sich sehr stark auf den entsprechenden geogenen Kiesinput aus (1 Prozent der Lager des Tiefbaus entspricht ca. 25% des jährlichen geogenen Kiesinput). Eine genaue Zahl zur Lagerrate kann deshalb aufgrund der obigen Überlegungen nicht angegeben werden. Wir vermuten, dass das Wachstum in den Tiefbauprozessen im Jahr 1997 effektiv bei etwa 1,3 % bis 2 % lag.

Für die Modellberechnungen sind wir aber beim ursprünglichen Wert von 1% geblieben. Wir gehen hier davon aus, dass das Strassennetz in der Schweiz im wesentlichen gebaut ist. Ab dem Jahr 2010 gehen wir sogar davon aus, dass kein bzw. nur noch ein unbedeutendes Wachstum stattfindet.

### **3.2.2. Zustand 2010**

Die Darstellung der verschiedenen Szenarien erfolgt zum Zeitpunkt 2010. Wir gehen davon aus, dass sich bis zu diesem Zeitpunkt eine vollständige Verwertung der anfallenden Abfälle einstellen wird (keine Lagerüberschüsse mehr in den Recycling-Prozessen).

#### **a) Szenarien unter der Annahme, dass der vorschriftsmässige Vollzug gewährleistet ist**

##### **Szenario 0: „business as usual“ (Abb. 3-7)**

Das Szenario 0 zeigt mit den gleichen Verteilungsannahmen der Sekundärbaustoffe auf die verschiedenen Prozesse wie im Zustand 1997, den Zustand 2010. Aufgrund der erhöhten Abfallflüsse vergrössert sich die Menge an aufbereiteten Sekundärbaustoffen:

- Die Abfallmenge welche in den Aufbereitungsprozessen bearbeitet werden betragen 13.15 mio t/a (Zustand 1997: 11.2 mio t/a).
- Die aufbereitete Sekundärbaustoffmenge erhöht sich gegenüber 8.7 mio t/a im Zustand 1997 somit total um 12% auf 9.76 mio t/a (vgl. Tabelle 3-8).

Die Abfallflüsse im Hochbau erhöhen sich zwischen 1997 und 2010 um rund 40% (Tiefbau nur 3%)<sup>11</sup>. Aus dem Hochbau stammen die Sekundärmaterialien Mischabbruchgranulat und Betongranulat. Die Veränderung des Verbrauchs an Sekundärmaterialien

<sup>11</sup> gemäss Wuest & Partner, [Lit. 1 und 2]

lien in den Verwertungsprozessen ist deshalb stark von diesen beiden Materialien beeinflusst, d.h. es vergrößern sich hauptsächlich die Sekundärbaustoffanteile in jenen Prozessen, in welchen Mischabbruchgranulat und Betongranulat eingesetzt wird (*Loser Einsatz mit Abdeckung, Betonherstellung*). Dies wird in der folgenden Abbildung 3-5 aufgezeigt:

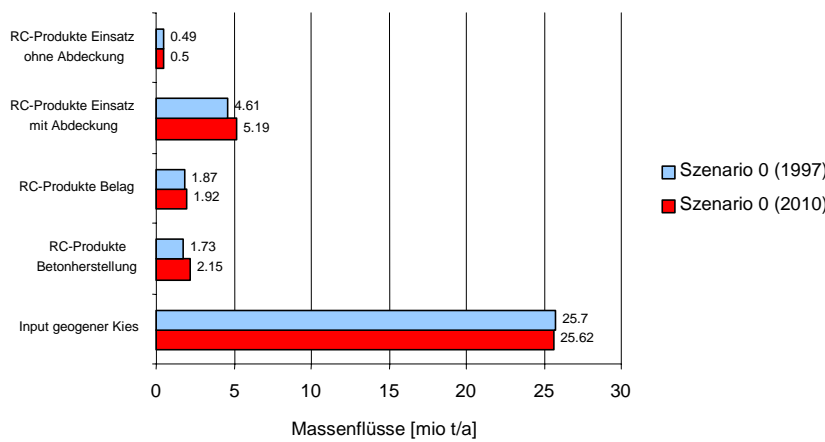
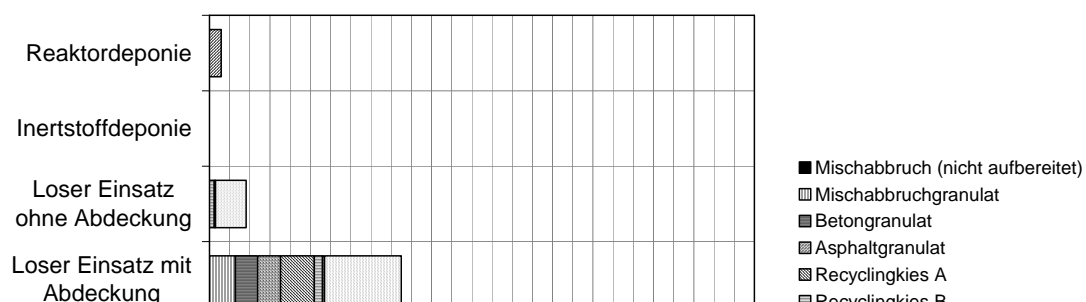


Abbildung 3-5: Veränderung der Massenflüsse sowie des Inputs Kies geogen 1997-2010

- Der Materialfluss *RC-Produkte Betonherstellung* erhöht sich um 32% infolge der hohen Anteile Betongranulat und Mischabbruchgranulat (vgl. Tabelle 3-8).
- Der Materialfluss *RC-Produkte Einsatz mit Abdeckung* erhöht sich aufgrund des hohen Anteils Mischabbruchgranulat um 12.6%.
- Der Input Kies geogen verändert sich nur unwesentlich.

In den Anwendungen *Loser Einsatz mit Abdeckung* und *Bituminöser Belag* beträgt der Anteil Sekundärbaustoffe zum Zeitpunkt 2010 bereits über 50% (vgl. Abbildung 3-6). Dieser hohe Anteil ist im wesentlichen auf die Berücksichtigung der auf den Baustellen direkt verwerteten Sekundärbaustoffe zurückzuführen. Eine weitere Steigerung des Recyclinganteils in diesen Prozessen ist aufgrund technischer Grenzen nur in sehr beschränktem Umfang möglich. Der Prozess *Betonherstellung* weist mit 9% einen kleinen Anteil Sekundärbaustoffe am gesamten Materialbedarf auf. In diesem Prozess wird das Einsatzpotential von Sekundärbaustoffen nicht ausgeschöpft.

**Szenario 1 - 2010**  
**Maximale Ressourcenschonung**



**IMP**



**CONSULTEST AG**

*Abbildung 3-6: Substitutionspotential von geogenem Kies in den verschiedenen Anwendungen*

Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Stoffflussanalyse, Teilprojekt 1a)

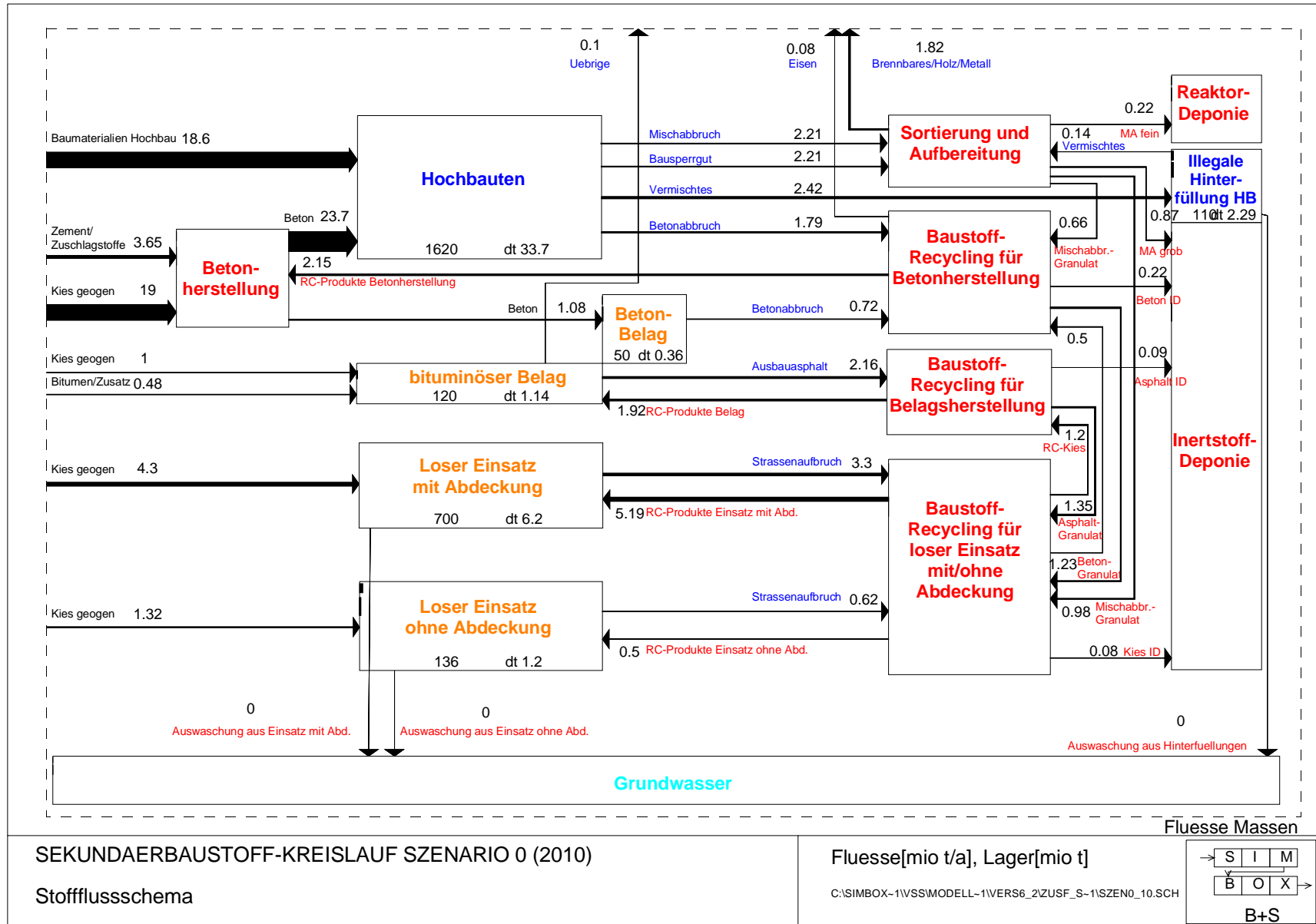


Abbildung 3-7: "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft" - Szenario 0 „business as usual“

**Szenario 1: „maximale Ressourcenschonung“ (Abb. 3-9)**

In Bezug auf Szenario 0 führen die Annahmen im Szenario „maximale Ressourcenschonung“ zu folgenden Veränderungen in den Massenflüssen des Sekundärbaustoff-Modelles:

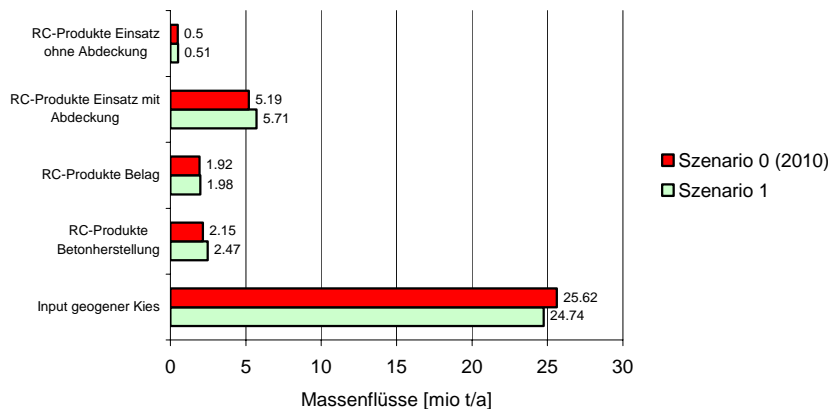


Abbildung 3-8: Veränderung der Massenflüsse sowie des Kies geogen Szenario 0 – Szenario 1

- Der geogene Kiesbedarf nimmt um rund 4% ab. Die Abnahme erfolgt durch die Verwertung der zusätzlichen Materialmengen welche nicht mehr auf die Deponien gelangen. Der Anteil von 60% des Inertmaterials (vgl. nächster Punkt) entspricht der geringen Einsparung von geogenem Kies von 4%.
- Durch die verfeinerte Triage werden vom bisherigen Inertmaterial rund 40% in die Reaktordeponie abgelagert. 60% gelangen neu in die Verwertung, hauptsächlich in den Strassenkoffer (Prozess *Loser Einsatz mit Abdeckung*) sowie in den Prozess *Betonherstellung*.
- Der Materialfluss *RC-Produkte Betonherstellung* erhöht sich aufgrund des erhöhten Materialumsatzes um rund 15%.
- Der Materialfluss *RC-Produkte Einsatz mit Abdeckung* erhöht sich gegenüber Szenario 0 um 10%.
- Der Anteil Sekundärbaustoffmaterialien im Prozess *Loser Einsatz mit Abdeckung* erhöht sich wegen der Erhöhung des Materialflusses *RC-Produkte Einsatz mit Abdeckung* von 55% in Szenario 0 auf 60% (vgl. Anhang 2.3, Abbildung Szenario 1). Dieser Anteil stellt gemäss unseren Annahmen (vgl. Kapitel 3.2.1, Abschnitt Plausibilitätsüberlegungen) die Einsatzgrenze von Sekundärbaustoffmaterialien im Prozess *Loser Einsatz mit Abdeckung* dar.

**Folgerungen:**

Die Einsparung von geogenem Kies von ca. 3.5 % aufgrund eines Ablagerungsstopps auf die Inertstoffdeponie ist sehr klein. Ein grösseres Reduktionspotential würde beim effektiven Einsatz der

**IMP**

Sekundärbaustoffe als geogenen Kiesersatz erzielt werden. Das Reduktionspotential von geogenem Kies ist zwischen dem Szenario 0 und 1 kleiner als das Potential, welches bereits in Szenario 0 durch einen vermehrten Einsatz der Sekundärbaustoffe als Kiesersatz vorhanden wäre.



**CONSULTEST AG**

Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Stoffflussanalyse, Teilprojekt 1a)

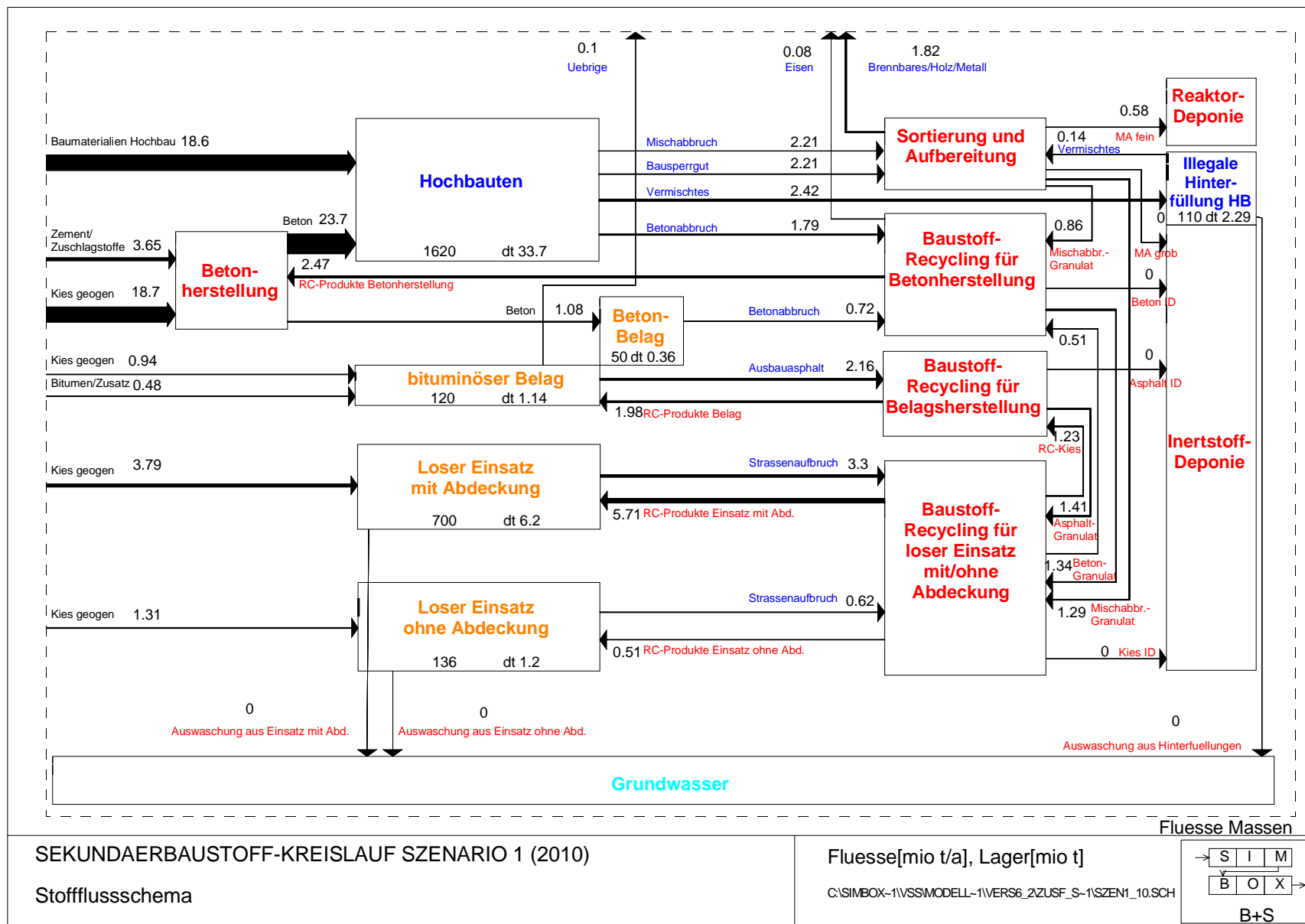


Abbildung 3-9: "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft" - Szenario 1 „maximale Ressourcenschonung“

**Szenario 2: „maximaler Grundwasserschutz“ (Abb. 3-11)**

In Szenario 2 wird ein bezüglich Grundwasserschutz optimierter Zustand dargestellt.

In Bezug auf das Szenario 0 führen die Szenarienannahmen zu folgenden Veränderungen in den Materialflüssen:

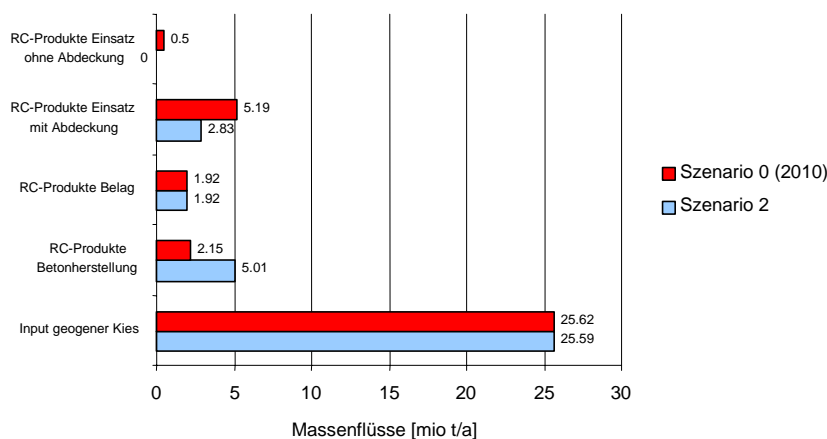


Abbildung 3-10: Veränderung der Massenflüsse sowie des Kies geogen Szenario 0 – Szenario 2

- In den Prozess *bituminöser Belag* gelangen Recyclingstoffe in einem Verhältnis zu geogenem Kies von 55%:45%, in den Prozess *loser Einsatz mit Abdeckung* in einem Verhältnis von 30%:70% (Szenario 0 2010: 55%:45%). Im Prozess *loser Einsatz ohne Abdeckung* werden keine Sekundärbaustoffe eingesetzt (vgl. auch Abbildung Szenario 2 in Anhang 2.3).
- Der Input an Recyclingbaustoffe in den Prozess *loser Einsatz mit Abdeckung* wird aufgrund der Erhöhung der Materialflüsse in die Prozesse *Betonherstellung* und *bituminöser Belag* gegenüber Szenario 0 um 45% reduziert.
- Der Anteil an Recyclingbaustoffen gegenüber dem Input an geogenem Kies im Prozess *Betonherstellung* erhöht sich von 10% im Szenario 0 auf 24% (Sz 0: 2.15 mio t/a RC-Material; 19 mio t/a geogener Kies / Sz 2: 5.01 mio t/a RC-Material; 16.1 mio t/a geogener Kies).
- Analog zum IST-Zustand wird Asphaltgranulat im Prozess *loser Einsatz mit Abdeckung* eingesetzt. Die Verwendung des Asphaltgranulats wird dabei als separate Schicht unter dem Belag als Reinplanie angenommen.
- Der Input von geogenem Kies in den Prozess *loser Einsatz mit/ohne Abdeckung* erhöht sich durch den verringerten Einsatz von Sekundärbaustoffmaterialien gegenüber dem Szenario 0 (5.62 mio t/a) auf 8.49 mio t/a um 50% (6.67 mio t/a + 1.82 mio t/a).

**IMP**

- Durch den erhöhten Einsatz von Sekundärbaustoffmaterialien in gebundener Form, wird der geogene Kiesinput in den Prozess *Betonherstellung* um 15% von 19 mio t/a auf 16.1 mio t/a reduziert.
- Der geogene Kiesinput in den Prozess *bituminöser Belag* verändert sich nicht. Der Anteil an Recyclingbaustoffen in diesem Prozess wird gemäss Szenario 0 beibehalten.

*Folgerungen:*

Um Verbesserungen in Bezug auf den Grundwasserschutz zu erreichen wäre es ideal, die Sekundärbaustoffe in gebundener Form einzusetzen. Aufgrund der geringen Nachfrage nach Sekundärbaustoffen in den entsprechenden Prozessen ist dies jedoch nicht möglich.



**CONSULTEST AG**

Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Stoffflussanalyse, Teilprojekt 1a)

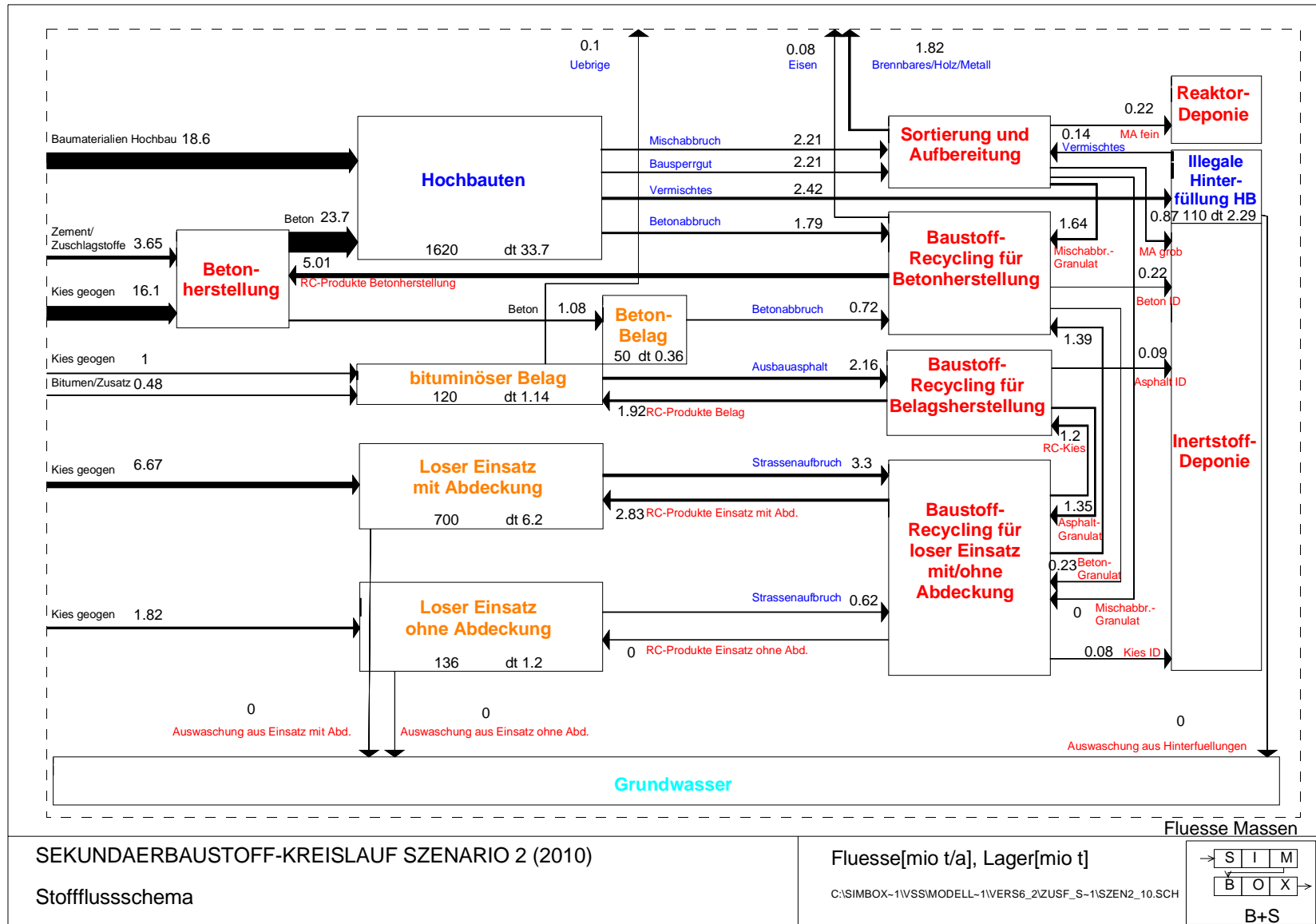


Abbildung 3-11: "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft" - Szenario 2 „Maximaler Grundwasserschutz“

**IMP**

**b) Szenarien unter der Annahme, dass der vorschriftsmässige Vollzug nicht eingehalten wird**

**Szenario 3: „Zusammenbruch Aufbereitung“ (Abb. 3-14)**

In Bezug auf das Szenario 0 führen die Szenarienannahmen zu folgenden Veränderungen in den Materialflüssen:

- Es wird angenommen, dass keine Materialien in den Deponien zur Ablagerung gelangen. Die total deponierte Menge von 1.13 mio t/a (Szenario 0) wird auf 0 mio t/a reduziert (vgl. auch Abbildung Szenario 3 in Anhang 2.3).
- Da keine Aufbereitung von Sekundärbaustoffen mehr stattfindet, werden in den Prozessen *bituminöser Belag* sowie *loser Einsatz mit Abdeckung* nur noch ein Anteil Kies eingesetzt, welcher bei Sanierungs- und Erneuerungsarbeiten direkt auf der Baustelle wieder als Koffermaterial verwendet wird (je 1.4 mio t/a).
- Die Verwertung der Abfallmaterialien im Prozess *loser Einsatz ohne Abdeckung* führt im Stoffflussmodell zu einem negativen geogenen Kiesinput von -6.64 mio t/a. Diese Zahl ergibt sich aus der dem Modell zugrundeliegenden Bilanzrechnung für jeden Prozess (vgl. Abbildung 3-12, links). Damit die Bilanz über den Prozess stimmt, beträgt der Input von Kies geogen -6.64 mio t/a ( $\text{Input} = \text{Output} + \text{Lagerrate dt}$ ). Der negative Wert lässt sich so interpretieren, dass die Massenflüsse von Bauabfällen in diesen Prozess höher sind als die in diesem Prozess verwertbare Materialmenge. In Bezug auf eine effektive Marktsituation kann dieser Zustand als ein Überangebot von Bauabfallmaterialien gegenüber der bisherigen Nachfrage interpretiert werden. Dieses Überangebot hat zur Folge, dass neue Anwendungsformen entstehen. Die überschüssigen Bauabfälle gelangen dabei in folgende Anwendungen:
  - Hinterfüllung verboten
  - Auffüllung von Kiesgruben

In die Anwendungen Naturstrassen, Dämme und Hinterfüllungen des Prozesses *Loser Einsatz ohne Abdeckung* wird weiterhin geogener Kies eingesetzt (Abb. 3-12). Der Abfallmaterialfluss von 8.46 mio t/a gelangt in die Anwendungen „Hinterfüllung verboten“ und „Auffüllung von Kiesgruben“. In der Darstellungsform des Stoffflussmodelles ist diese Interpretation in der Abbildung 3-12, rechts, aufgezeichnet.



**CONSULTEST AG**

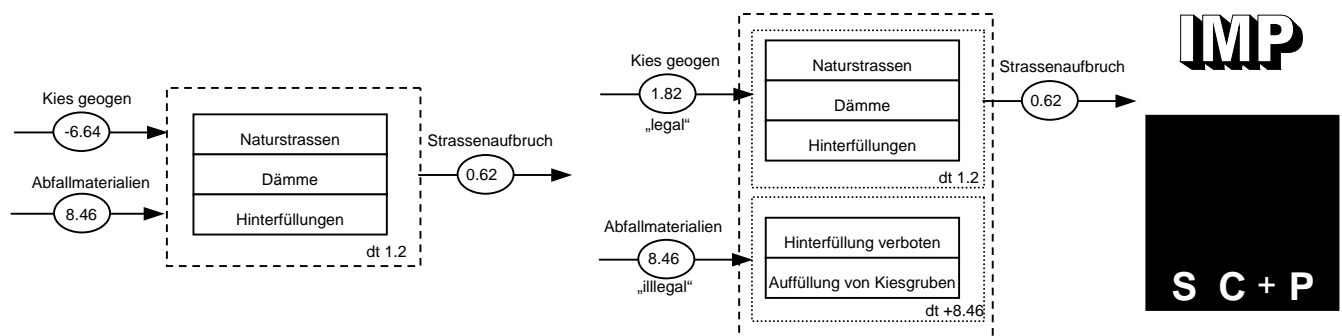


Abbildung 3-12: Verteilung der Materialien auf die Anwendungen im Prozess Loser Einsatz ohne Abdeckung gemäss Stoffflussmodell links sowie übertragen auf eine effektive Marktsituation rechts

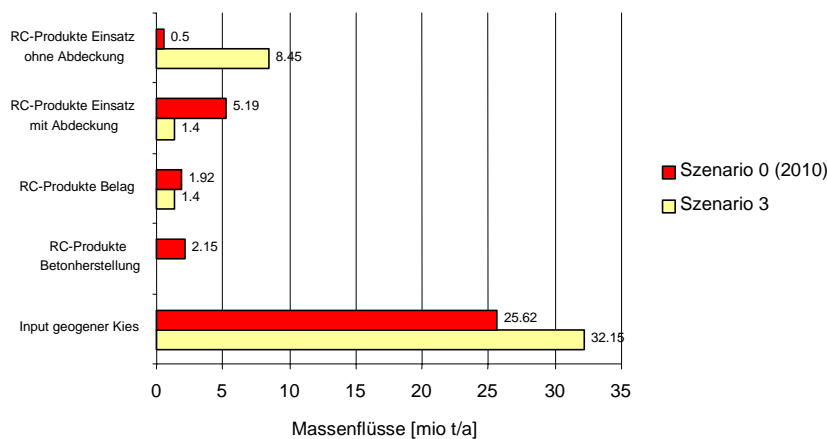


Abbildung 3-13: Veränderung der Massenflüsse sowie des Kies geogen Szenario 0 – Szenario 3

- Aufgrund der wegfallenden zweistufigen Sortierung wird der Outputfluss aus dem Prozess Sortierung und Aufbereitung (Brennbares/Holz/Metall) um 30% von 1.82 mio t/a auf 1.26 mio t/a reduziert.
- Der gesamte Input Kies geogen wird gegenüber Szenario 0 um 30% erhöht und liegt mit 32.15 mio t/a in der Grössenordnung der in der Realität verwendeten Menge Kies geogen von 32.6 mio t/a (vgl. Tabelle 3-7). Diese starke Erhöhung tritt auf, weil alle Abfallmaterialien in den Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung* gelangen und dadurch die Materialnachfrage in den Prozessen *Loser Einsatz mit Abdeckung* und *bituminöser Belag* nahezu vollständig mit geogenem Kies gedeckt werden muss.

Wenn die Aufbereitung zusammenbricht entsteht zwangsläufig ein Überschuss, welcher eine Ablagerung von Bauabfallmaterialien zur Folge hat. Unter der Annahme, dass keine Wertstoffe mehr produziert werden, laufen wir Gefahr, dass eine Verwertung in der vorangehend genannten Grössenordnung (8.46 mio to/a) passieren könnte.

Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Stoffflussanalyse, Teilprojekt 1a)

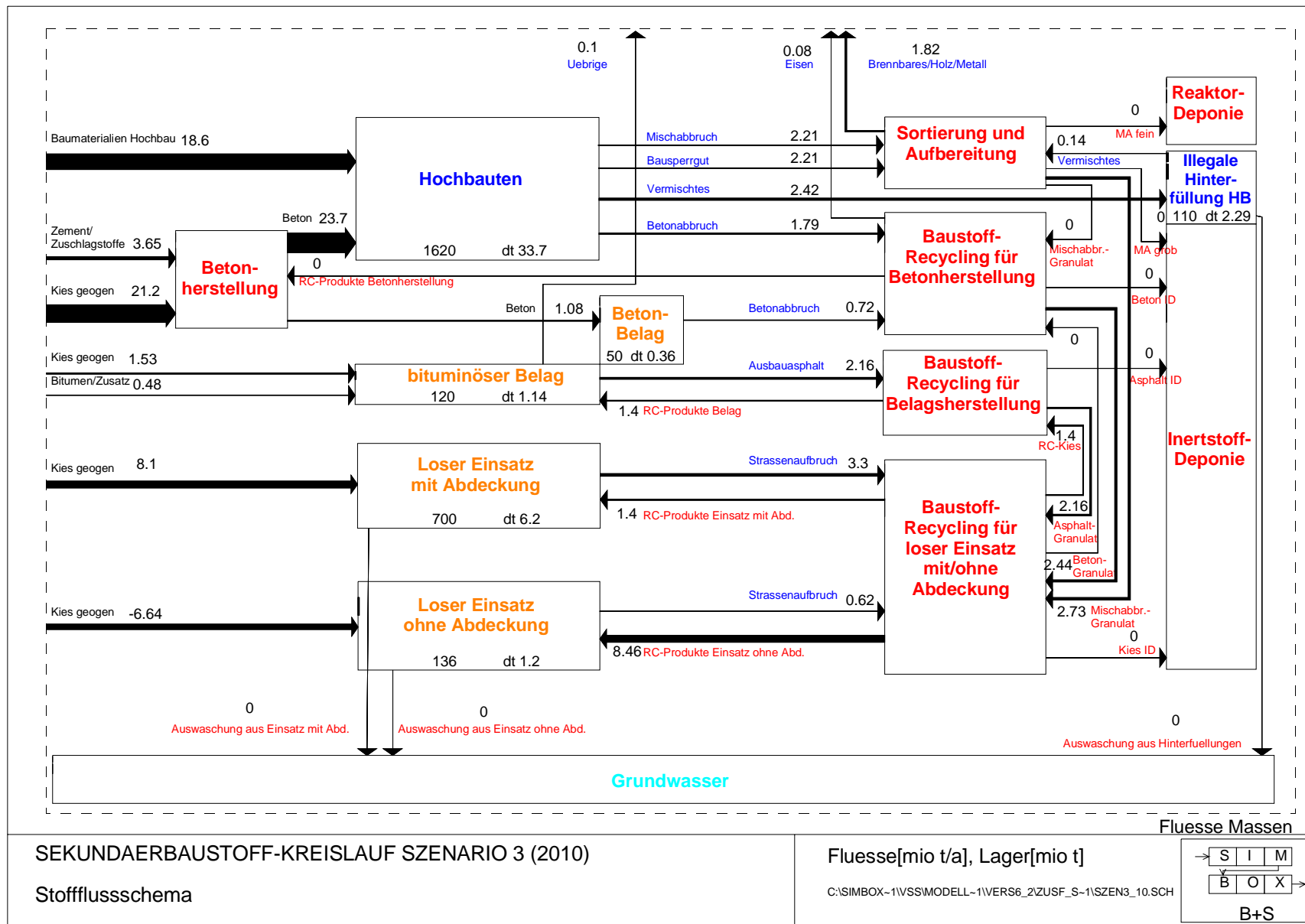


Abbildung 3-14: "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft" - Szenario 3 „Zusammenbruch Aufbereitung“

**IMP**



**CONSULTEST AG**

#### **Szenario 4: „unsorgfältige Verwertung“ (Abb. 3-17)**

Motiv für eine unsorgfältige Verwertung dürften in vielen Fällen ökonomische Gründe, aber auch ungenügende Kontrollen durch die Aufsichtsorgane sein. Besonders negative Auswirkungen dürften unsorgfältige Verwertungen in Anwendungen sein, in welchen aufgrund der Auswaschungsgefahr von Schadstoffen der Einsatz von Sekundärbaustoffen stark begrenzt wird (Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung*). Es wurde davon ausgegangen, dass ungeeignete Materialien (Mischabbruch) vermehrt als Pisten auf Baustellen sowie Parkplätze eingesetzt werden. Gegenüber einer „Entsorgung“ als Hinterfüllung, kann hier der Unternehmer noch mit einer, wenn auch geringeren finanziellen Entschädigung für das eingesetzte Baumaterial rechnen.

Das Szenario 4 liegt aufgrund der Annahmen nahe beim Szenario 0 und untersucht die möglichen Auswirkungen einer „Verlotterung“ der Disziplin bei der Sekundärbaustoffverwertung.

Es findet eine Verlagerung von Sekundärbaustoffen vom Prozess *Loser Einsatz mit Abdeckung* in den Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung* statt (vgl. Abbildungen Szenario 3 und 4 in Anhang 2.3). Entgegen der Richtlinie [Lit. 4] werden Sekundärbaustoffmaterialien (Betongranulat, Mischabbruchgranulat, Asphaltgranulat, RC-Kies A) eingesetzt:

- Durch die Erhöhung der Materialflüsse in den Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung* wird der geogene Kiesinput in diesen Prozess aufgrund der Bilanzrechnung in diesem Prozess Null (vgl. Abb. 3-15, links). In die Anwendungen Naturstrassen, Hinterfüllungen und Dämme dieses Prozesses gelangen, entsprechend der Erklärung bei Szenario 3 (vgl. Szenario 3, Punkt 3), nach wie vor geogener Kies gemäss dem Szenario 0 von 1.82 mio t/a (1.32 mio t/a Kies geogen, 0.11 mio t/a RC-P, 0.39 mio t/a RC-B). Hinzu kommen die zusätzlichen Sekundärbaustoffprodukte, welche entgegen der Richtlinie in den Anwendungen „Pisten auf Baustellen“ sowie „Parkplätze“ eingesetzt werden (1.82 mio t/a). Übertragen auf eine effektive Marktsituation kann dieser Zustand in der Darstellungsform der Stoffflussanalyse anhand von Abbildung 3-15, rechts, aufgezeigt werden.

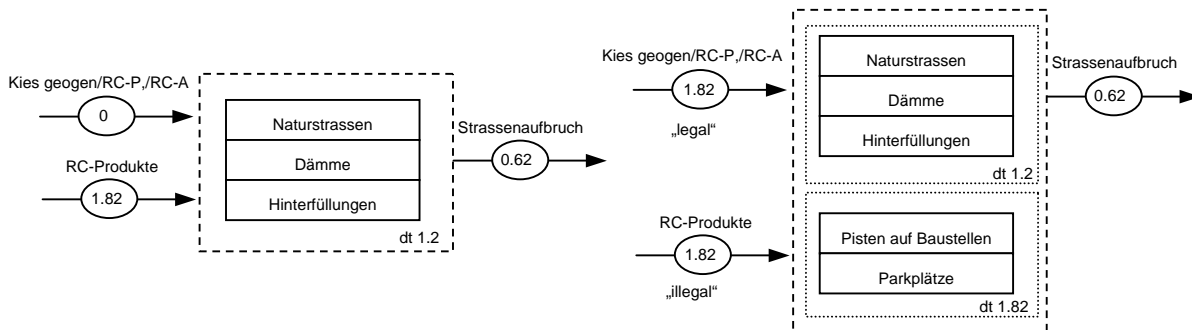


Abbildung 3-15: Verteilung der Materialien auf die Anwendungen im Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung* gemäss Stoffflussmodell links sowie übertragen auf eine effektive Marktsituation rechts

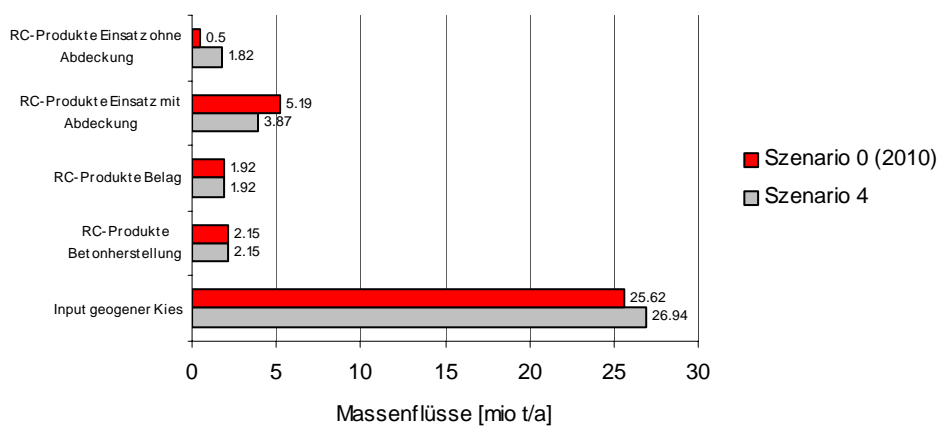


Abbildung 3-16: Veränderung der Massenflüsse sowie des Kies geogen Szenario 0 – Szenario 4

- Der Anteil an Sekundärbaustoffmaterialien im Prozess *Loser Einsatz mit Abdeckung* wird durch die erhöhten Materialflüsse in den Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung* auf 40% reduziert.

Das Szenario 4 stellt einen Zustand dar, welcher in Bezug auf die Mengenverhältnisse denkbar wäre. Im Gegensatz zu den Szenarien 1, 2 und 3 treten in Szenario 4 keine Einschränkungen infolge von Nachfrageproblemen oder technischen Rahmenbedingungen auf.

Analyse der heutigen und zukünftigen Sekundärbaustoffflüsse (Stoffflussanalyse, Teilprojekt 1a)

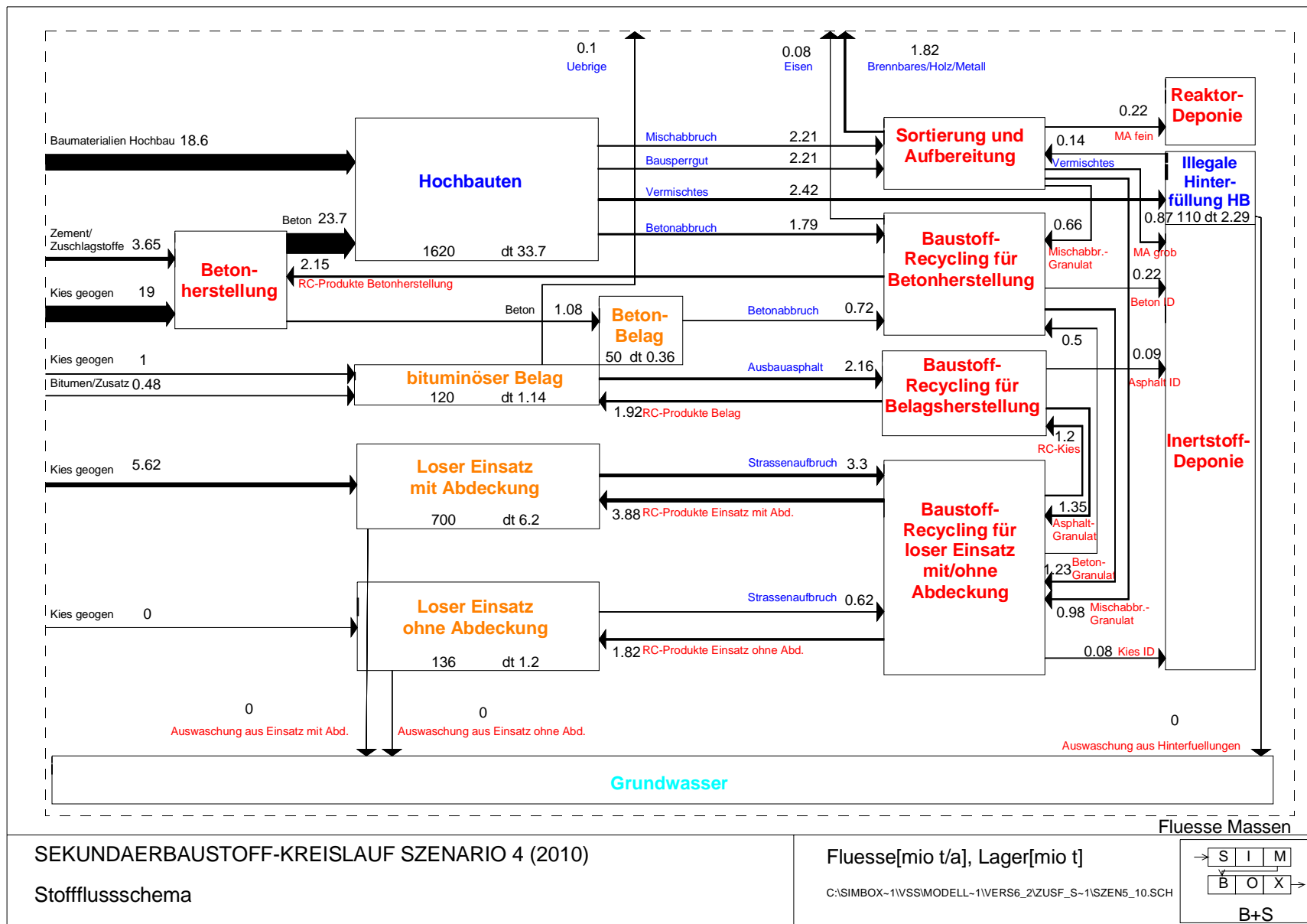


Abbildung 3-17: "Sekundärressourcen in der Bauwirtschaft" – Szenario 4 „unsorgfältige Verwertung“



### 3.2.3. Zustand 2040

Der Zustand 2040 wird im Rahmen der Betrachtung der Massenflüsse nicht dargestellt. Jedoch wird der Zustand 2040 beiden Frachtberechnungen (Teilprojekt 1b, Kapitel 4) betrachtet. Dabei wird von einem linearen Verlauf der Abfallmengenerhöhung ausgegangen, wie er zwischen 1997 und 2010 festgestellt wurde (vgl. vorangehende Kapitel).

### 3.2.4. Zusammensetzung der Flüsse in den verschiedenen Szenarien

Die Zusammensetzung der Materialflüsse welche in den Stoffflussschemas als RC-Produkte zusammengefasst dargestellt sind, liefert die Grundlage für die Berechnung der Schadstofffrachten (Teilprojekt 1b, Kapitel 4). Folgende Tabelle zeigt, aus welchen Materialien die zusammengefassten Flüsse bestehen und welche %-Anteile die einzelnen Materialien einnehmen:

Flüsse	Anteil total	Material	IST-Zustand	Szenario 0	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
			[mio t/a]	[mio t/a]	[mio t/a]	[mio t/a]	[mio t/a]	[mio t/a]
<b>RC-Produkte Betonherstellung (MAG/BG/RC-B/RC-P)</b>								
		MAG	0.48	0.66	0.86	1.64	0	0.66
		BG	0.77	0.99	1.1	1.98	0	0.99
		RC-B	0.38	0.39	0.4	1.17	0	0.39
		RC-P	0.1	0.11	0.11	0.22	0	0.11
<b>Total</b>	<b>20%</b>		<b>1.73</b>	<b>2.15</b>	<b>2.47</b>	<b>5.01</b>	<b>0</b>	<b>2.15</b>
<b>RC-Produkte Belag (AG/RC-P/RC-A)</b>								
		AG	0.7	0.72	0.75	0.72	0	0.72
		RC-P	0.11	0.11	0.11	0.11	0	0.11
		RC-A	1.06	1.09	1.12	1.09	1.4	1.09
<b>Total</b>	<b>21%</b>		<b>1.87</b>	<b>1.92</b>	<b>1.98</b>	<b>1.92</b>	<b>1.4</b>	<b>1.92</b>
<b>RC-Produkte Einsatz mit Abdeckung (AG/BG/RC-P/RC-B/RC-A)</b>								
		AG	1.05	1.08	1.13	1.08	0	0.86
		BG	0.77	0.99	1.1	0	0	0.66
		RC-P	0.11	0.11	0.11	0.11	0	0.11
		RC-B	0.38	0.39	0.4	0	0	0.39
		RC-A	1.59	1.64	1.68	1.64	1.4	1.31
		MAG	0.71	0.98	1.29	0	0	0.54
<b>Total</b>	<b>53%</b>		<b>4.61</b>	<b>5.19</b>	<b>5.71</b>	<b>2.83</b>	<b>1.4</b>	<b>3.87</b>
<b>RC-Produkte Einsatz ohne Abdeckung (RC-P/RC-B)</b>								
		AG	0	0	0	0	1.88	0.22
		BG	0	0	0	0	2.2	0.33
		RC-P	0.11	0.11	0.11	0	0.44	0.11
		RC-B	0.38	0.39	0.4	0	1.2	0.39
		RC-A	0	0	0	0	0	0.33
		MAG	0	0	0	0	2.73	0.44
<b>Total</b>	<b>6%</b>		<b>0.49</b>	<b>0.5</b>	<b>0.51</b>	<b>0</b>	<b>8.45</b>	<b>1.82</b>
<b>Gesamttotal RC-Produkte</b>	<b>100%</b>		<b>8.7</b>	<b>9.76</b>	<b>10.67</b>	<b>9.76</b>	<b>11.25</b>	<b>9.76</b>

Tabelle 3-8: Zusammensetzung der RC-Producteflüsse und %-Anteile der einzelnen Materialien

Legende: MAG: Mischabbruchgranulat; BG: Betongranulat; AG: Asphaltgranulat; RC-A/B/P: Recyclingkies A/B/P

**IMP**



**CONSULTEST AG**

### **3.3. Zusammenfassung und Folgerungen**

#### **3.3.1. Grössenordnung der Massenflüsse und Plausibilitäten**

Im Teilprojekt 1a (Stoffflussanalyse) werden als Ausgangslage die Massenflüsse im System der Baustoffbewirtschaftung für das Bezugsjahr 1997 untersucht und dargestellt. Im Szenario 0 (Modellrechnung unter bestmöglicher Berücksichtigung der effektiven Verhältnisse 1997) wurden die bekannten Jahresmengen aus dem Ressourceneinsatz (Zementproduktion, Bitumeneinsatz, Kiesverbrauch) und der Abfallwirtschaft (Mischabbruch, Ausbauphase, Betonabbruch, Strassenaufbruch, Inertstoffe, Reaktormaterialien) im Stoffflusssystem integriert.

Die Modellrechnung ergibt für die Bauabfälle gesamthaft eine Entsorgungsrate von rund 22% (rund 2.5 Mio to pro Jahr, Anteil der Bauabfälle, die auf Deponien oder in der KVA entsorgt oder ausserhalb der Bauwirtschaft, z.B. im Metallrecycling, wiederverwertet werden). Beim Vergleich der berechneten mit den effektiven Entsorgungsmengen zeigt sich dabei eine gute Übereinstimmung.

Für die restlichen Bauabfallmengen (8.7 Mio to pro Jahr oder rund 78%) wird im Modell von einer vollständigen Aufbereitung und Verwertung innerhalb der Bauwirtschaft ausgegangen. Die zur Plausibilitätsüberprüfung herangezogenen Zahlenwerte des ARV (Abfall und Recycling Verband) weisen jedoch für das Bezugsjahr 1997 lediglich eine Menge von 5.4 Mio to aus. Die Differenz dieser beiden Mengen von 3.3 Mio to ist signifikant. Für die Abweichungen sehen wir vor allem folgende drei Gründe:

##### **a) Lagerbildung in den Recyclingprozessen**

Im Modell wird angenommen, dass in den Recyclingprozessen kein Lagerwachstum stattfindet. Demgegenüber wäre aber auch denkbar, dass die Materialdepots der Recyclingbetriebe zur Zeit anwachsen.

##### **b) Verwertung der Bauabfälle ausserhalb der in der Vollzugsrichtlinie [Lit. 4] vorgesehen Anwendungen**

Die vom ARV gelieferten Mengenangaben umfassen vermutlich nur Recyclingmaterialien, die die in der Vollzugsrichtlinie geforderten Qualitäten aufweisen und in den dort vorgesehenen Anwendungen eingesetzt werden. Es muss deshalb angenommen werden, dass bereits heute die Verwertung eines beträchtlichen Teils der Bauabfälle nicht entsprechend den gesetzlichen Rahmenbedingungen erfolgt.

**IMP**

**c) Berücksichtigung direkt auf der Baustelle wiederverwerteter Sekundärbaustoffe im Modell**

Im Modell werden bei den Sekundärbaustoffen „Asphaltgranulat“ und „Recyclingkiese“ die direkt auf der Baustelle verwerteten Anteile auch berücksichtigt. Bei den vom ARV gelieferten Mengenangaben erfolgt dies aber nur teilweise.

Beim geogenen Kiesinput berechnet das Modell einen Verbrauch, der ca. 6.9 Mio to unterhalb der effektiv auf dem Markt verbrauchten Menge liegt. Dieses Modellresultat lässt darauf schliessen, dass das im Modell angenommene Lagerwachstum (Zunahme der gesamten Baustoff-Masse in den Anwendungsprozessen in % pro Jahr) von 1% zu tief ist. Für eine gute Übereinstimmung zwischen Modell- und tatsächlichen Mengen muss das Lagerwachstum in den Tiefbauprozessen (*loser Einsatz mit/ohne Abdeckung* und *bituminöser Belag*) auf rund 1.8 % erhöht werden.

**3.3.2. Erkenntnisse aus den Szenarien**

Zusammenfassend zeigt die Überprüfung der Plausibilität, dass die resultierenden Daten, die effektiven Verhältnisse in einer plausiblen Grössenordnung wiedergeben. Trotzdem sind aber gewisse Unsicherheiten bei einzelnen Flüssen relativ gross. Welcher der oben aufgeführten Gründe (Lagerwachstum in den Recyclingprozessen, unsorgfältige Verwertung, unvollständige Erfassung der Absatzmengen, zu kleines angenommenes Lagerwachstum) in welchem Mass für diese Abweichungen verantwortlich ist, lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen. Mit den 4 ausgewählten Szenarien wird deshalb versucht, den sich daraus ergebenden Spielraum vollumfänglich zu berücksichtigen, damit gesamthaft ein umfassendes Bild aller möglichen, künftigen Zustände entsteht.

Die Resultate der Modellberechnungen für die verschiedenen Szenarien können folgendermassen kommentiert werden:

**Szenario 1 „maximale Ressourcenschonung“**

Im Szenario 1 werden die Bauabfälle konsequent als Sekundärbaustoffe verwendet und als Kiesersatz eingesetzt (keine Ablagerung mehr auf Deponien). Aufgrund der heute schon relativ geringen Deponierungsrate der kiesähnlichen Materialien ist der Effekt auf die Ressourcenschonung aber nicht besonders gross (kleine zusätzliche Sekundärbaustoffmengen). Es resultiert insgesamt lediglich eine Einsparung von ca. 3.5 % des jährlich verwendeten geogenen Kieses.

**Szenario 2 „maximaler Grundwasserschutz“**

Im Szenario 2 werden die Sekundärbaustoffe möglichst in gebundener Form (Beläge, Hochbau) eingesetzt. Der *lose Einsatz ohne Abdeckung* könnte so vollständig vermieden werden. Auf den *lo-*



**CONSULTEST AG**

**IMP**



**CONSULTEST AG**

*sen Einsatz mit Abdeckung* kann hingegen nicht ganz verzichtet werden, da den Einsätzen in gebundener Form aus technischer Sicht gewisse Grenzen gesetzt sind. Bezüglich der Schonung von Kiesreserven ergibt sich schlussendlich aber kein positiver Effekt (der Mehrverbrauch im losen Einsatz ohne Abdeckung wird aufgehoben durch die Einsparungen in den anderen Prozessen).

#### **Szenario 3 „Zusammenbruch Aufbereitung“**

Durch das Szenario 3 wird die Qualität der Sekundärbaustoffe stark vermindert. Die Sekundärbaustoffe können dadurch zu einem grossen Teil nicht mehr zur Substitution des Kiesverbrauchs eingesetzt werden (siehe Abbildung 3-12). Es resultiert ein Mehrverbrauch an Kies von rund 7 Mio to pro Jahr, was einem Mehrverbrauch von ca. 25% entspricht.

#### **Szenario 4 „unsorgfältige Verwertung“**

Im Szenario 4 werden die Sekundärbaustoffe qualitativ nicht verändert und können wie gewohnt als Kiesersatz verwendet werden. Aufgrund einer unsorgfältigen Verwertung in anderen Anwendungen wird trotzdem mehr geogener Kies verbraucht. Mit rund 1.3 Mio to pro Jahr ist dieser Mehrverbrauch aber verhältnismässig gering (ca. 5%).

### **3.3.3. Schlussfolgerungen**

Die verschiedenen Szenarien zeigen auf, dass für eine weitergehende Schonung der geogenen Kiesressourcen im Bezug auf den Umgang mit den Sekundärbaustoffen kein grosses Potential mehr vorhanden ist (maximale Reduktion um ca. 3.5 %, Szenario 1, vgl. Abb. 3-18). Eine deutliche Reduktion des Abbaus an geogenen Kiesreserven wird erst dann stattfinden, wenn das Lager des gesamten „Bauwerks Schweiz“ (Summe der Bauten des Hoch- und Tiefbaus) nicht mehr weiter wächst und die Baustoffe weiterhin zu einem grossen Teil wiederverwendet werden. Dieser Übergang vom „Lageraufbau zur Lagerbewirtschaftung“ wird auch in der Studie „Baustoffmanagement 21“ [Lit. 34] thematisiert.

Hingegen könnten schlechtere Rahmenbedingungen für das Baustoffrecycling dazu führen, dass die Kiesreserven wieder deutlich schneller aufgezehrt werden, als dies heute der Fall ist (bis zu 25% Mehrverbrauch, Szenario 3, vgl. Abb. 3-18).

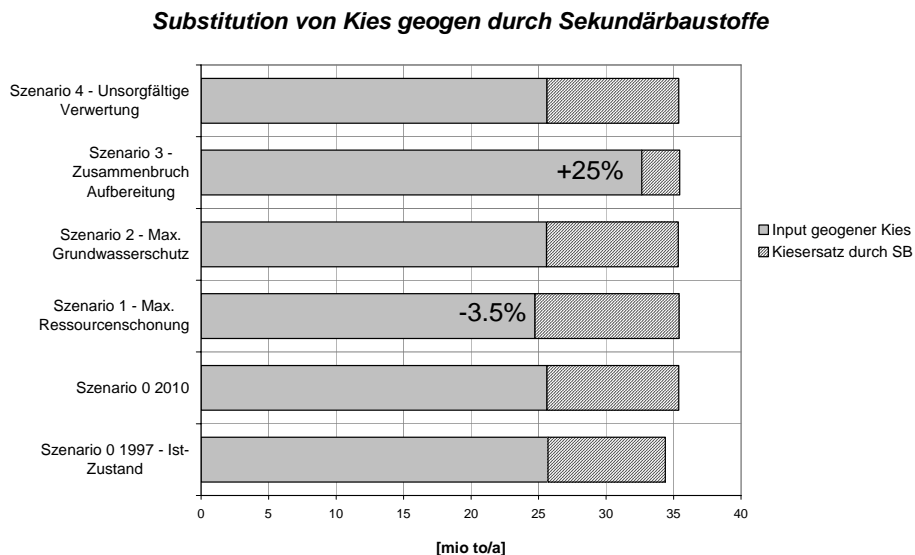


Abbildung 3-18: Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auf den Ressourcenbedarf von Kies

### 3.3.4. Empfehlungen

Die folgenden Empfehlungen sind im Hinblick auf eine möglichst weitreichende Schonung der geogenen Kiesreserven bezogen. Der Einfluss der verschiedenen Szenarien auf die Schadstoffemissionen ins Grundwasser wird erst im Kap. 4 berücksichtigt.

Wie oben bereits erläutert, geht es in erster Linie darum, die heutige hohe Verwertungsrate bei den kiesigen Sekundärbaustoffen zu erhalten, damit das grosse „Negativpotential“ (25% Mehrverbrauch bei den geogenen Kiesressourcen gegenüber dem heutigen Zustand) künftig nicht ausgeschöpft wird.

Eine erste Empfehlung zielt deshalb auf die Sicherstellung der Qualität der Sekundärbaustoffe. Dadurch wird erreicht, dass deren Einsatz tatsächlich auch weiterhin als Ersatz für den geogenen Kies dient. Die zweite Empfehlung betrifft die Förderung des Einsatzes von Sekundärbaustoffen, sodass der Absatz der anfallenden Mengen sichergestellt ist. Dadurch bleiben die Anreize zur Herstellung von qualitativ hochwertigen Sekundärbaustoffen weiter bestehen.

Die dritte Empfehlung zielt daraufhin, dass das Wachstum der Gesamtmasse der Bausubstanz sich nicht mehr von Jahr zu Jahr erhöht, sondern rückläufig wird oder gar ganz stagniert. Erst dann sind wirksame Einsparungen beim Verbrauch von geogenem Kies zu erreichen.

Die Empfehlungen und mögliche Massnahmen zur Umsetzung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.



CONSULTEST AG

<b>Empfehlung</b>	<b>Massnahmen</b>
Hohe Qualität der Sekundärbaustoffe sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderung rückbaufähiger Konstruktionen in den Anwendungsprozessen</li> <li>• Verbesserung der Triage auf der Baustelle bei Abbrüchen (kontrollierter Rückbau)</li> <li>• Qualitätskontrolle bei den Aufbereitungsprozessen</li> <li>• Aufrechterhalten der Deponierungsrate, gezielte Entsorgung der nicht verwendbaren Komponenten aus der Bausperrgutaufbereitung sicherstellen (Verhindert Vermischung mit den verwertbaren Komponenten)</li> </ul>
Umfassender Absatz der Sekundärbaustoffe sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überprüfen der Qualitätsanforderungen für gebundene Einsatzarten (insbesondere Betonqualitäten)</li> <li>• PR-Aktion bei Bauherren, Planern und Unternehmen zur vermehrten Anwendung von Sekundärbaustoffen</li> <li>• PR-Aktion bei Bauherren/Planern um die Verwendung von „farbigem“ Beton zu fördern</li> </ul>
Rückläufiges Wachstum der Bausubstanz anstreben	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umbau (mit grösstmöglicher Wiederverwertung der abgebrochenen Bausubstanz) statt Neubau fördern</li> </ul>

Tabelle 3-9: Empfehlungen im Bezug auf die Schonung geogener Kiesreserven im System Bauwirtschaft.

**IMP**



**CONSULTEST AG**

## **4. Schadstoffauswaschung und Belastung des Grundwassers aus den Sekundärbaustoffen (Teilprojekt 1b, SC+P)**

---

### **4.1. Methoden**

Auf Basis der Stoffflussanalyse (Teilprojekt 1a) werden unter Anwendung eines Berechnungsmodelles (DILUTE 2000, [Lit. 12]) die Schadstoffemissionen aus den eingesetzten Sekundärbaustoffen ins Grundwasser berechnet. Auf der Grundlage der Resultate aus der Szenarienbetrachtung gemäss Kap. 3.2 werden dazu die Massenflüsse der Sekundärbaustoffprodukte in die verschiedenen Anwendungen verwendet (vgl. Tabelle 3-8). Die Resultate werden in ihrem zeitlichen Verlauf im Beurteilungszeitraum 1997 bis 2040 dargestellt.

#### **4.1.1. Grundlagen**

SC+P hat im Rahmen der Erarbeitung der Richtlinie für die Verwendung von Sekundärbaustoffen für die Kantone Bern und Solothurn [Lit. 11] Berechnungsmodelle für die Prognose der Schadstoffemissionen aus Materialablagerungen entwickelt und diese später in einem EDV-Programm umgesetzt (DILUTE2000, [Lit. 12]). Die Berechnungen gründen auf Modellvorstellungen von Baccini & Belevi [Lit. 18]. Messergebnisse aus Säulenversuchen im Labor lassen sich befriedigend mit diesen Modellvorstellungen vereinbaren. Der Berechnungsansatz berücksichtigt neben umfangreichen Erfahrungswerten aus der Schadstofffreisetzung von Deponien einen grossen Teil der in jüngerer Zeit durchgeführten Säulenversuche [bsp. Lit. 11, 14].

DILUTE2000: vgl. Erläuterung und Berechnungsansatz in Anhang 3.6.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurden Säulenversuche an klassifizierten Sekundärbaustoffen oder deren Komponenten durchgeführt (vgl. Kapitel 2, Teilprojekt 3). Für alle Parameter (Schadstoffe) und Materialgruppen wurden drei verschiedene W/F-Verhältnisse ausgewählt (vgl. Abbildung 4-1). Bei der Wahl der Messbereiche wurde dabei die unterschiedliche Schichtdicke verschiedener Anwendungen von Sekundärbaustoffen (Strassen, Naturstrassen, Plätze, Dämme, Hinterfüllungen) berücksichtigt, d.h. es wurden jene W/F-Verhältnisse ausgewählt, mit denen die in der Realität auftretenden Auswaschungen mittels der Analyseergebnisse nachvollzogen werden können<sup>12</sup>.

W/F-Verhältnis:  
Wasser/Feststoff-  
Verhältnis (0.00-  
0.40;0.60-1.00;2.30-  
2.70 [l/kg])

---

<sup>12</sup> Bsp: bei einer geringen Schichtdicke wird pro Zeiteinheit eine geringere Menge an Material durchsickert, die Wassermenge (Niederschlagsmenge) bleibt aber gleich. Daraus resultiert ein grösseres Wasser/Feststoff-Verhältnis.

#### 4.1.2. Integration der Resultate der Säulenversuche in das Berechnungsmodell DILUTE2000

Die Säulenversuche für die verschiedenen Sekundärbaustoffmaterialien können grafisch als Auswaschkurven mit jeweils 3 Messpunkten, bzw. drei W/F-Verhältnissen dargestellt werden (Beispiel in Abbildung 4-1 mit vier ausgewählten Sekundärbaustoffmaterialien für den Parameter Chlorid). Jeder Messpunkt entspricht dem Mittelwert der entsprechenden Bandbreite des W/F-Verhältnisses.

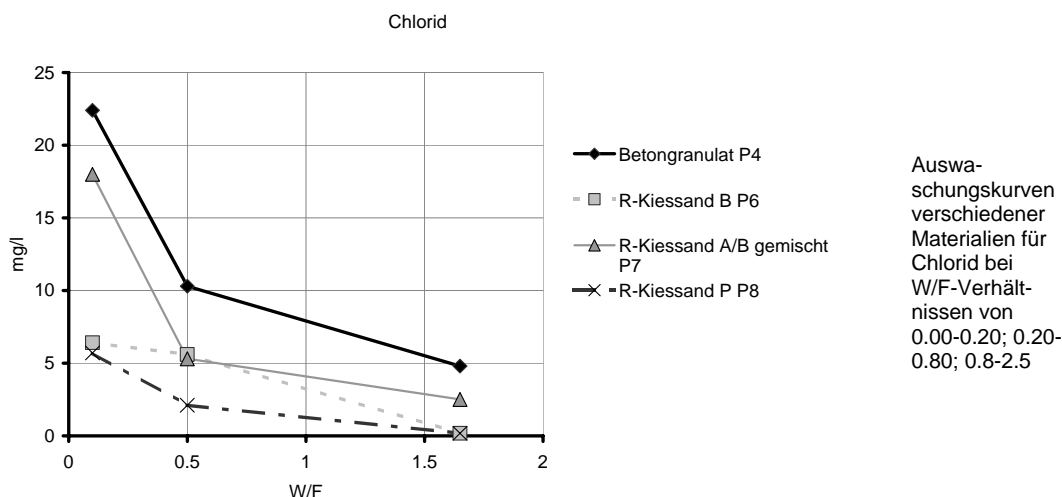


Abbildung 4-1: Auswaschkurven für Chlorid gemäss Säulenversuch

Der Konzentrationsverlauf eines Schadstoffes im Sickerwasser unter einer Sekundärbaustoffablagerung verläuft gemäss der Modellvorstellung von Baccini & Belevi [Lit. 12] als exponentielle Abnahme. Wie obiges Beispiel verdeutlicht, entsprechen die Messwerte in den meisten Fällen tatsächlich diesem Muster.

Das Auswaschungsmodell beruht im wesentlichen auf folgender Formel:

$$\gamma(t) = \gamma_0 \cdot e^{-\frac{\theta \gamma_0 t}{w_{s0}}}$$

Dabei ist  $\gamma$  die Konzentration eines Stoffs im Sickerwasser zur Zeit  $t$ .

$\theta$  ist gleich dem spezifischen Sickerwasserdurchsatz (Sickerwasservolumen pro Zeit- und Masseneinheit). Mit diesem Parameter wird die Geometrie einer Anwendung berücksichtigt.

$\gamma_0$  und  $w_{s0}$  werden gemäss Modell als Auswaschparameter bezeichnet. Dabei bedeuten:

$\gamma_0$ : Schadstoffkonzentration am Anfang der Auswaschung ( $t = 0$ )

$w_{s0}$ : Total lösbarer Gehalt eines Schadstoffs in einem bestimmten Material

In einem iterativen Vorgang wurden die Auswaschungsparameter ( $\gamma_0$  und  $w_{s0}$ ) stufenweise verändert, bis die Modell-Auswaschkurve in DILUTE2000 der Auswaschkurve aus dem Säulenversuch entsprach (vgl. folgende Abbildung 4-2).

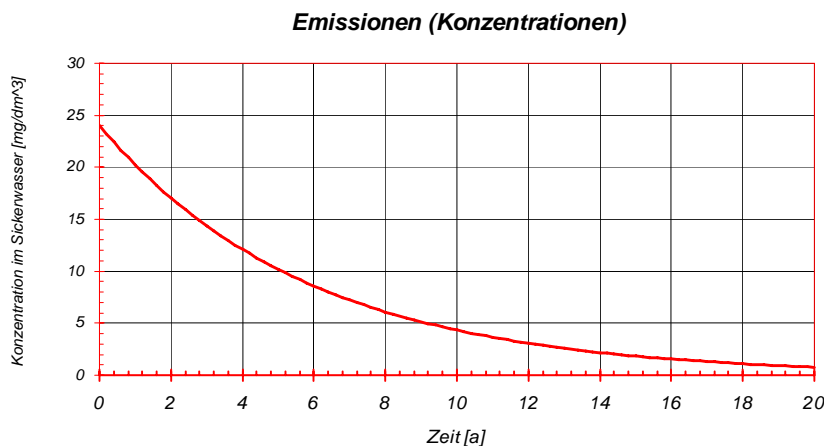


Abbildung 4-2: In DILUTE2000 angepasste Chlorid-Auswaschkurve für das Material Betongranulat

Bei den Materialien mit jeweils nur einem Säulenversuch (Rohausgangsmaterialien und Produkte, vgl. Anhang 3.1) wurden die Werte an den drei W/F-Verhältnissen mit dem exponentiellen Trend ergänzt.

Für das Material Mischabbruchgranulat stehen 10 Säulenversuche zur Verfügung (vgl. Kap. 3.2, Teilprojekt 3). Bei den drei W/F-Verhältnissen wurden die Mittelwerte gerechnet und ebenfalls der exponentielle Trend für die Datenreihe des Mittelwertes bestimmt.

Aus diesem Arbeitsschritt resultieren die Auswaschungsparameter ( $\gamma_0$  und  $w_{s0}$ ) der Schadstoffe für die verschiedenen Sekundärbaustoffmaterialien. Der beschriebene Ablauf entspricht somit einer Eichung des Modells (Auswaschparameter) mit den Analysedaten aus den Säulenversuchen.

#### 4.1.3. Berechnung der Schadstoffemissionen aus einer Sekundärbaustoffablagerung

Aufgrund der Stoffflussanalyse sind die mengenmässigen Anteile der Sekundärbaustoffe in den verschiedenen Anwendungsprozessen bekannt. Die Auswaschparameter der verschiedenen Schadstoffe wurden für jedes Sekundärbaustoffmaterial bestimmt (Kapitel 4.1.2). Mit diesen Ausgangsdaten können nun im Programm DILUTE die verschiedenen Sekundärbaustoffmaterialien rechnerisch untereinander gemischt werden. Die Information über die Mischungsverhältnisse der verschiedenen Sekundärbaustoffmaterialien in den Anwendungen stammt ebenfalls aus der Stoffflussana-

**IMP**

lyse (Kapitel 3.2.4). Über diese Mischrechnung werden aus den einzelnen Auswaschparametern die Auswaschparameter eines Mischprodukts<sup>13</sup>, wie es in den Anwendungsprozessen eingesetzt wird, bestimmt ( $w_{s0 \text{ quer}}$  und  $\gamma_{0 \text{ quer}}$ ).

Aufgrund der jährlich zunehmenden Abfallmengenflüsse (vgl. Kapitel 3.1.5; 1997-2010, Abfallflüsse aus dem Hochbau um 38%, Abfallflüsse aus dem Tiefbau um 3%) verändern sich die Zusammensetzungen der verschiedenen Anwendungen kontinuierlich. Für die Berechnung der Schadstofffrachten wurde vereinfachend eine mittlere Zusammensetzung der verschiedenen Anwendungen berechnet, welche ein konstantes Wachstum der Abfallflüsse berücksichtigt.

Die Berechnung der Schadstofffracht erfordert die Kenntnis über die Sickerwassermenge welche jährlich durch eine Anwendung fließt. Die Berechnung der Sickerwassermenge wird einerseits für die Mengenanteile aufgrund der jährlichen Inputs von Sekundärbaustoffen durchgeführt, andererseits für die belasteten Anteile des bestehenden Lagers der Anwendung.

Das bestehende Lager wird nachfolgend als „Lager alt“ bezeichnet. Es umfasst den Lagerbestand einer Anwendung, welcher vor 1997 aufgebaut worden ist. Wir gehen davon aus, dass vor rund 10 Jahren mit dem Einbau von Sekundärbaustoffen begonnen wurde. Der belastete Anteil des „Lagers alt“ wird somit bei Annahme einer Lagerrate von 1% des Lagerbestandes mit 10% berücksichtigt; das Lageralter beträgt damit 10 Jahre.

In die Berechnung der Sickerwassermenge gehen die Grunddaten der Anwendung (Masse Total im Gesamtsystem, Schichtdicke, Dichte), Niederschlagsdaten (Niederschlagsmenge, Anteil Sickerwasser) sowie Angaben zur Belastung der Anwendung (Anteil belastet, Alter Lager, %-Anteil der Anwendungskategorie) ein. Aus der Masse der jährlichen Zunahme von Sekundärbaustoffen wird in Halbjahresschritten die berechnete Fläche (Quotient aus Masse und Dichte x Höhe) berechnet. Diese nimmt kontinuierlich mit der Zunahme der Sekundärbaustoffinputs zu. Die berechnete Fläche des bestehenden „Lagers alt“ bleibt über den Berechnungsvorgang konstant. Die berechnete Fläche wird anschliessend wiederum in Halbjahresschritten mit der Sickerwassermenge zur Erhaltung der Frachten multipliziert.

Wir gehen für die Zeitpunkte 1997 und 2010 davon aus, dass nur unbelastete Materialien durch die Sekundärbaustoffeinbauten ersetzt werden. Die Wiederverwertung von eingesetzten Sekundär-



**CONSULTEST AG**

<sup>13</sup> Bsp. Mischprodukt: „RC-Produkte Belag“ (siehe Stoffflussdiagramme in Kap. 3) besteht aus Asphaltgranulat, RC-Kies P und RC-Kies A (vgl. dazu Tabelle 3-8, Kap. 3.2.4.)

**IMP**

baustoffmaterialien über den Recyclingprozess wird im Zeitpunkt 2040 thematisiert.

Für die Geometrien der verschiedenen Anwendungen wurden Annahmen getroffen (vgl. Anhang 3.5). Für die Berechnung von Schadstofffrachten ins Grundwasser sind nur die Prozesse *Illegale Hinterfüllung Hochbauten* sowie *Loser Einsatz mit/ohne Abdeckung* auswaschungsrelevant. Wir gehen davon aus, dass die Materialdepots in den Aufbereitungsprozessen sowie die Deponien die Anforderungen der TVA [Lit. 23] genügen und das Sickerwasser somit über ein Abwasserreinigungssystem abgeleitet wird. Ebenfalls als vernachlässigbar stufen wir die Auswaschung von Schadstoffen in jenen Prozessen ein, bei denen die Sekundärbaustoffe in gebundener Form eingesetzt werden (Beläge und Hochbau).

Die Prozesse wie sie im Sekundärbaustoffkreislauf erscheinen (*Loser Einsatz mit/ohne Abdeckung*, *Illegale Hinterfüllung Hochbauten*) decken als übergeordnete Gliederung verschiedene konkrete Anwendungen (Strassen, Plätze, Naturstrassen, Dämme, Hinterfüllungen, etc.) ab. Die folgende Tabelle 4-1 zeigt zusammengefasst die Annahmen über die Verteilung der verschiedenen Anwendungen zu den Prozessen gemäss Stoffhaushaltssystem (bsp.: In den Szenarien 0, 1 und 2 setzt sich der Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung* zu 40% aus der Anwendung Naturstrasse, zu 20% aus der Anwendung Damm und zu 40% aus Hinterfüllungen zusammen).



**CONSULTEST AG**



CONSULTEST AG

Szenarien 0, 1 und 2		Prozess		
Anwendung	Schichtdicke der Anwendung [m]	Illegale Hinterfüllung Hochbau	Loser Einsatz ohne Abdeckung	Loser Einsatz mit Abdeckung
Strasse, Platz	0.7	-	-	30%) <sup>14</sup>
Naturstrasse	0.5	-	40%	-
Damm	3	-	20%	-
Hinterfüllung erlaubt	2.5	-	40%	-
Illegale Hinterfüllung Hochbau	2.5	100%	-	-
Total	-	100%	100%	30%

Szenario 3		Prozess		
Anwendung	Schichtdicke der Anwendung [m]	Illegale Hinterfüllung Hochbau	Loser Einsatz ohne Abdeckung	Loser Einsatz mit Abdeckung
Strasse, Platz	0.7	-	-	30%) <sup>13</sup>
Hinterfüllung unerlaubt	2.5	-	60%	-
Illegale Hinterfüllung Hochbau	2.5	100%	-	-
Auffüllungen von Kiesgruben	10	-	40%	-
Total	-	100%	100%	30%

Szenario 4		Prozess		
Anwendung	Schichtdicke der Anwendung [m]	Hinterfüllung Hochbau	Loser Einsatz ohne Abdeckung	Loser Einsatz mit Abdeckung
Strasse, Platz	0.7	-	-	30%) <sup>13</sup>
Illegale Hinterfüllung Hochbau	2.5	100%	-	-
Pisten auf Baustellen	0.3	-	60%	-
Parkplätze	0.4	-	40%	-
Total	-	100%	100%	75%

Tabelle 4-1: Verteilung der verschiedenen Anwendungen gemäss Szenarien

Innerhalb eines Szenarios wird eine bestimmte Verteilung der Anwendungen der verschiedenen Prozesse angenommen (vgl. Tabelle 4-1). Der Berechnungsvorgang liefert für jedes Szenario die Schadstofffrachten aller Parameter welche aus den jeweiligen Anwendungen emittiert werden (vgl. Kapitel 4.2).

<sup>14</sup> Annahme: Plätze setzen nur ca. 10% der Schadstoffe frei, welche Strassen freisetzen; 70% Strassen, 30% Plätze zu 10% Anteil Strasse ergibt  $\Rightarrow 73\% \approx 75\%$ ; Korrektur aufgrund der verringerten berechneten Fläche infolge der Abdeckung: 40%, ergibt total einen Anteil von 30% des totalen Bestandes im Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung*.

#### 4.1.4. Berechnung der Schadstoffauswaschung ins Grundwasser unter Einbezug der verschiedenen Szenarien

Die Kenntnis über die Lagerzusammensetzungen der verschiedenen Anwendungen und Aufbereitungsprozesse bildet die Basis für die Berechnung der Schadstoffkonzentrationen im Modell DILUTE2000. Zusammen mit der Information über die Sickerwassermenge welche durch eine Anwendung sickert, kann die ausgewaschene Schadstofffracht berechnet werden.

Im zeitlichen Verlauf werden dabei die ausgewaschenen Frachten der verschiedenen jährlichen „Teillager“ (= jährlich neu eingebaute Sekundärbaustoffe) kumuliert. Dies führt zur folgenden Darstellung (Beispiel für Chlorid):

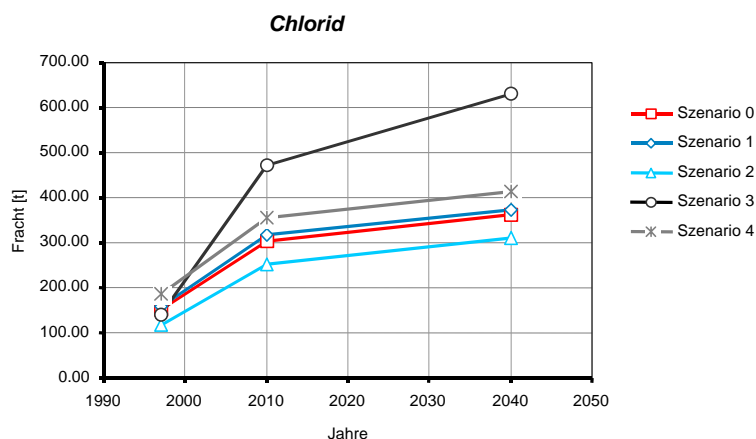


Abbildung 4-3: Zeitlicher Verlauf der jährlichen Chlorid-Frachten

#### 4.1.5. Schadstoffimmissionen ins Grundwasser

Die Beurteilung der Auswirkungen der Herstellung und Verwertung von Sekundärbaustoffen für das Grundwasser erfolgt über zwei Verdünnungsrechnungen. Es wird unterschieden zwischen einer globalen und einer lokalen Sichtweise. In der „globalen“ Sichtweise wird der Einfluss der Schadstoffauswaschung von Sekundärbaustoffen auf die Qualität der gesamten Grundwasservorkommen der Schweiz abgeschätzt. Die lokale Sichtweise dagegen beurteilt nur den potentiellen Einfluss auf Grundwasservorkommen in Siedlungsgebieten.

##### a) „Globale“ Sichtweise

Bei der Verdünnungsrechnung für die globale Sichtweise werden die berechneten totalen Frachten der Schadstoffauswaschung für alle Parameter (vgl. Resultate Kapitel 4.2.2) mit der totalen jährlichen Grundwasserneubildung in der ganzen Schweiz verdünnt.

Die totale Grundwasserneubildung ergibt sich dabei aus dem Anteil Niederschlag (in mm/a), der in der Schweiz jährlich ins Grundwasser gelangt (langsamer Abfluss = Grundwasserneubildungsrate) siehe dazu [Lit. 35] multipliziert mit der Gesamtfläche der Schweiz. Der langsame Abfluss beträgt gemäss [Lit. 35] in der Schweiz rund 250 – 700 mm pro Jahr. Für unsere Berechnungen wurde eine Grundwasserneubildungsrate von 400 mm pro Jahr verwendet.

**totale Grundwasserneubildung CH**  
 = Grundwasserneubildungsrate \* Gesamtfläche CH  
 = 400 mm/a \* 41'300 km<sup>2</sup> = **ca. 1.7 \* 10<sup>10</sup> m<sup>3</sup>/a**

Zur Veranschaulichung dieser Überlegungen dient die folgende Abbildung:

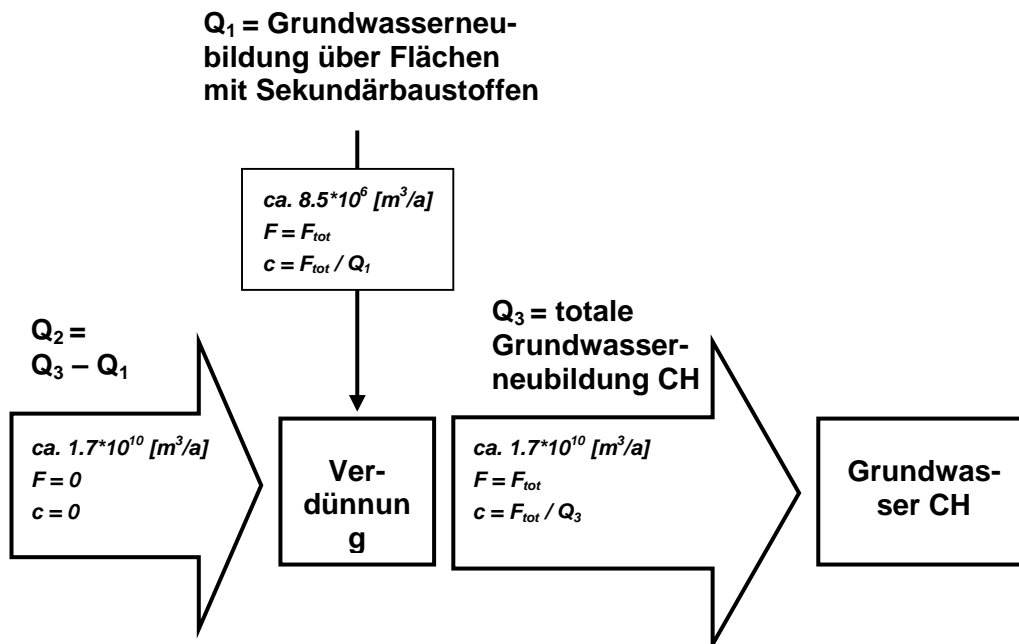


Abbildung 4-4: Verdünnungsrechnung globaler Ansatz; Q = Wassermenge pro Jahr, c = Konzentration für einen Schadstoff, F = Fracht für einen Schadstoff, F<sub>tot</sub> = Fracht total für einen Schadstoff gemäss Berechnung Kap. 4.2.2

Die Schadstoffbelastungen im Grundwasser durch andere Verursacher werden bei dieser Betrachtung vollständig ausgeblendet (F = 0 und c = 0 bei Q<sub>2</sub>). Die Konzentration c bei Q<sub>3</sub> stellt damit die **Konzentrationserhöhung** im Grundwasser durch die Schadstoffauswaschung von Sekundärbaustoffen dar.



CONSULTEST AG

### b) Lokale Sichtweise

Bei der Verdünnungsrechnung für den lokalen Ansatz erfolgt die Verdünnung nicht mehr durch die totale Grundwasserneubildung in der Schweiz, sondern nur noch durch jene, die über der Siedlungsfläche entsteht. Analog zum globalen Ansatz wird für die Berechnung dieser Grundwasserneubildung über dem Siedlungsgebiet CH auch wieder der langsame Abfluss [Lit. 35] verwendet:

#### Grundwasserneubildung über Siedlungsgebiet CH

$$= \text{Grundwasserneubildungsrate} \cdot \text{Siedlungsfläche CH}$$

$$= 400 \text{ mm/a} \cdot 2'200 \text{ km}^2 = \text{ca. } 8.8 \cdot 10^8 \text{ [m}^3/\text{a]}$$

Die totale Siedlungsfläche der Schweiz beträgt rund 2'200 km<sup>2</sup>, d.h. sie entspricht etwa einem  $\frac{1}{20}$  der Gesamtfläche der Schweiz. Dieser Faktor wird sich entsprechend in den Resultaten der Verdünnungsrechnungen niederschlagen. Die Konzentrationserhöhung im Grundwasser bei der lokalen Sichtweise wird also ca. 20 mal höher sein, als jene bei der globalen Sichtweise.

Die Verdünnungsrechnung beim lokalen Ansatz kann mit folgender Abbildung veranschaulicht werden:

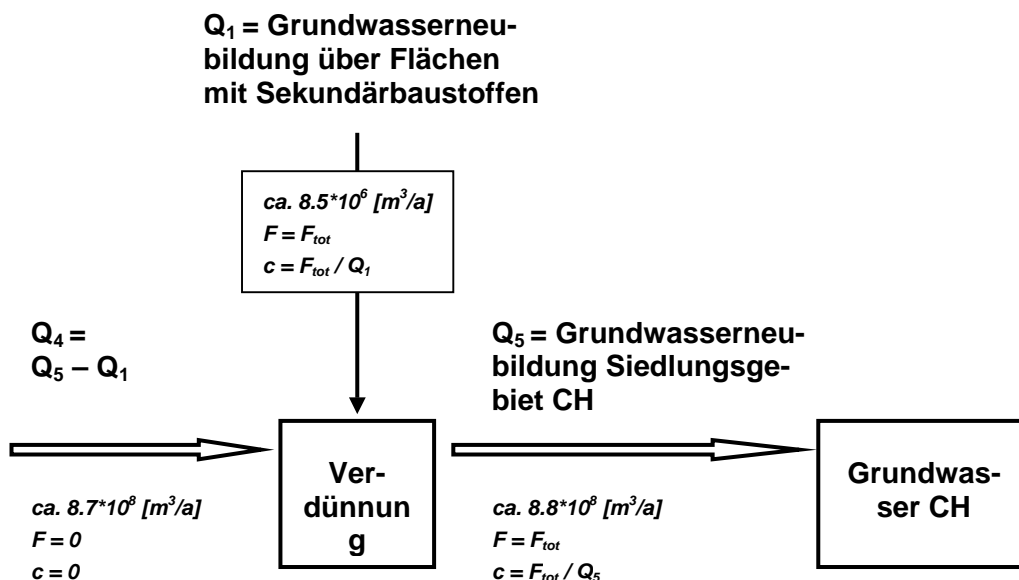


Abbildung 4-5: Verdünnungsrechnung lokaler Ansatz; Q = Wassermenge pro Jahr, c = Konzentration für einen Schadstoff, F = Fracht für einen Schadstoff, F<sub>tot</sub> = Fracht total für einen Schadstoff gemäss Berechnung Kap. 4.2.2

**IMP**

Analog zum globalen Ansatz werden mit dieser Betrachtung auch wieder die **Konzentrationserhöhungen** ( $c$  bei  $Q_5$ ) durch die Schadstoffauswaschung von Sekundärbaustoffen im Grundwasser berechnet.



**CONSULTTEST AG**

## 4.2. Resultate und Diskussion

In den folgenden Abschnitten werden die Resultate der Emissionsmodellrechnungen anhand von ausgewählten Parametern dargestellt. Für jeweils einen Parameter (Schadstoff) werden die Frachtkurven für die Auswaschungen aus dem Gesamtsystem (Auswaschung total aus allen relevanten Anwendungen) sowie für die einzelnen Prozesse, aufgeteilt in die verschiedenen Szenarien, gezeigt. Betrachtet werden die Parameter Chlorid, DOC, Ammonium, Nitrat, Nitrit, Chrom VI und Zink. Die Beschränkung auf diese Parameter erfolgte anhand einer Beurteilung der Analyseresultate und einer Sensitivitätsanalyse der Berechnungsergebnisse (vgl. dazu Anhang 3.4).

Im Abschnitt 4.2.3 werden die Resultate der Schadstoffimmissionen ins Grundwasser dargestellt.

### 4.2.1. Zentrale Einflussgrößen

Die Höhe der Schadstofffracht aus einer Sekundärbaustoff-Anwendung ist hauptsächlich von drei Einflussgrößen abhängig:

1. Grosser Massenanteil eines Sekundärbaustoffes mit hohem löslichen Anteil von Schadstoffen:

Es ist offensichtlich, dass entsprechend dem Massenanteil, welches ein Material mit einem hohen total löslichen Schadstoffgehalt an einer Anwendung einnimmt, sich die Relevanz dieser Anwendung in Bezug auf die totale Auswaschung eines Schadstoffes aus dem Gesamtsystem erhöht. Im konkreten Fall stellt bei fast allen Parametern der Mischabbruch (Mischabbruch Eingang und Mischabbruchgranulat) jenes Material dar, welches die grösste Belastung aufweist.

2. Schadstoffspezifisches Auswaschverhalten

Abhängig vom Löslichkeitsverhalten eines Schadstoffes zeigen sich verschiedene Auswaschungsmuster. Die Schadstoffe Chlorid und DOC werden sehr schnell aus einer Anwendung ausgewaschen. Die Auswaschungskurven dieser Schadstoffe sind durch hohe Anfangskonzentrationen und eine anschliessende starke Abnahme der Konzentration im Sickerwasser innerhalb einer kurzen Zeitspanne charakterisiert (vgl. Abbildung 4-6).

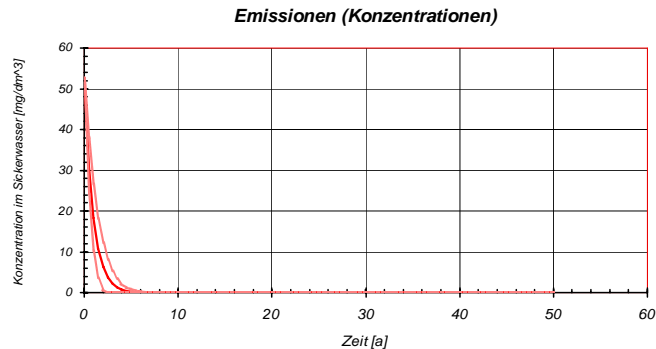


Abbildung 4-6: Auswaschkurve für den Schadstoff Chlorid

Im Gegensatz zu den Schadstoffen Chlorid und DOC werden die Schwermetalle Zink und Chrom VI sehr langsam ausgewaschen. Die entsprechende Auswaschkurve von Zink zeigt dieses Verhalten:

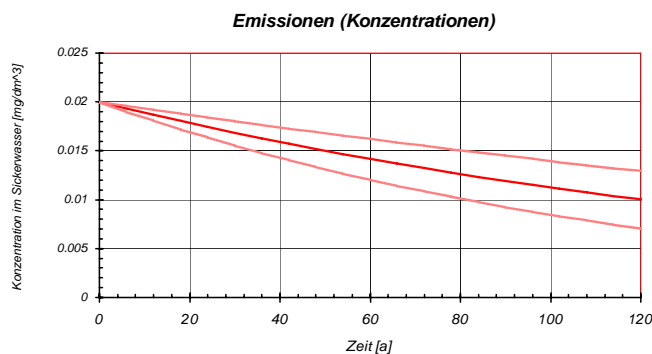


Abbildung 4-7: Auswaschkurve für den Schadstoff Zink

Die weiteren betrachteten Schadstoffe Sulfat, Ammonium, Nitrat und Nitrit liegen in ihrem Auswaschungsverhalten zwischen den beiden dargestellten Extremvarianten. Nitrit wird ebenfalls relativ schnell ausgewaschen. Bei Ammonium, Nitrat und Nitrit zeigen die Auswaschkurven eine langsame Abflachung.

### 3. Einfluss der Geometrie der Anwendung auf das Auswaschverhalten eines Parameters:

Die Geometrie der Anwendung beeinflusst durch die Schichtdicke die Berechnung der Schadstofffrachten in zwei Punkten. Einerseits wird durch eine höhere Schichtdicke die Auswaschkurve eines Schadstoffes abgeflacht und damit eine Konzentrationsabnahme zeitlich verzögert, andererseits beeinflusst die Schichtdicke die berechnete Fläche bezogen auf die totale Masse einer Anwendung und somit die Sickerwas-

sermenge welche durch die Anwendung fliesst. Anhand der kumulierten spezifischen Frachtkurven können diese Einflüsse aufgezeigt werden:

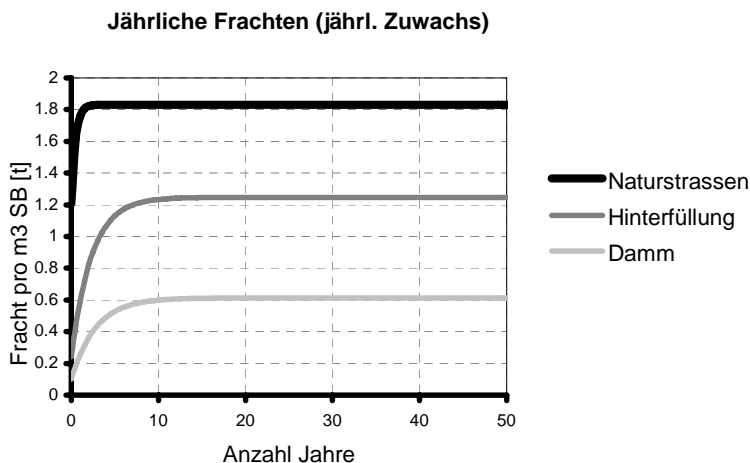


Abbildung 4-8: Einflüsse auf die spezifische jährliche Frachtkurve durch die Geometrie der Anwendung – Chlorid im Prozess Losser Einsatz ohne Abdeckung.

Abbildung 4-8 zeigt den Verlauf der jährlichen Chlorid-Frachtkurve unter den Anwendungen Naturstrassen, Hinterfüllung und Damm. Aufgrund der Schichtdicke der Anwendung verschiebt sich der Zeitpunkt der Abflachung der jährlichen Frachtkurve für den schnell ausgewaschenden Schadstoff Chlorid (vgl. Punkt 1) um ca. 8 Jahre. Für die Anwendung Naturstrasse wurde eine Schichtdicke von 0.5 m angenommen. Die Schichtdicken in den Anwendungen Hinterfüllung und Damm betragen 2.5 m resp. 3 m.

Die Kurve der jährlich ausgewaschenen Chlorid-Fracht aus der Anwendung Naturstrasse verläuft in der Anfangsphase schnell ansteigend und erreicht innerhalb kurzer Zeit ein Maximum und anschliessend eine Abflachung, welche als Erreichung eines „steady-state“ bezeichnet werden kann. Die jährliche Auswaschungsfracht erhöht sich ab diesem Zeitpunkt nicht mehr. Die Abflachung der Kurve tritt bei 4 Jahren ein. Im Gegensatz dazu ist bei den Chlorid-Frachtkurven aus den Anwendungen Hinterfüllung und Damm eine Abflachung erst nach ca. 12 Jahren erkennbar.

Schadstoffe welche langsam ausgewaschen werden (vgl. Punkt 1) zeigen unter Anwendungen mit grossen Schichtdicken Verläufe gemäss Abbildung 4-7. Der Schadstoff Chrom VI in der Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbauten (Annahme Schichtdicke 2.5 m) zeigt eine annähernd lineare Zunahme der jährlichen Fracht. Die Erreichung des „steady-state“ erfolgt sehr viel später als beim Endpunkt des betrach-



**IMP**

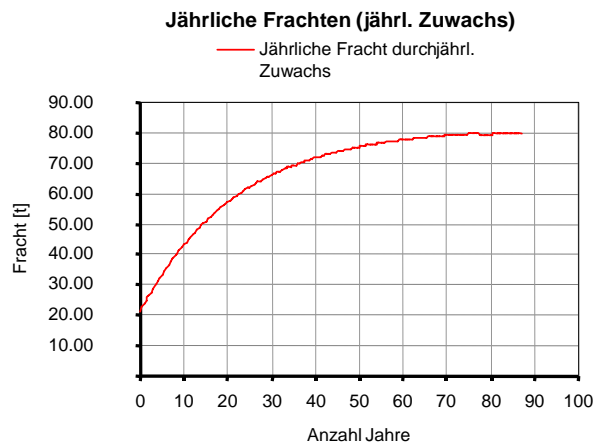


Abbildung 4-10: Beispiel eines Schadstoffes welcher langsam ausgewaschen wird; Ammonium in illegale Hinterfüllung Hochbauten

Aufgrund vergleichbarer Auswaschungsmuster gemäss Punkt 1 werden die Schadstoffe Chlorid und DOC in der nachfolgenden Darstellung der Resultate der Frachtberechnungen zusammen diskutiert. Ebenfalls werden die Schadstoffe Chrom VI und Zink sowie Ammonium, Nitrit, Nitrat und Sulfat als Gruppen dargestellt und erläutert.



**CONSULTEST AG**

## 4.2.2. Resultate der Schadstoffauswaschungen in den verschiedenen Szenarien

### a) Parameter Chlorid und DOC

#### Schadstofffrachten total aus dem Gesamtsystem

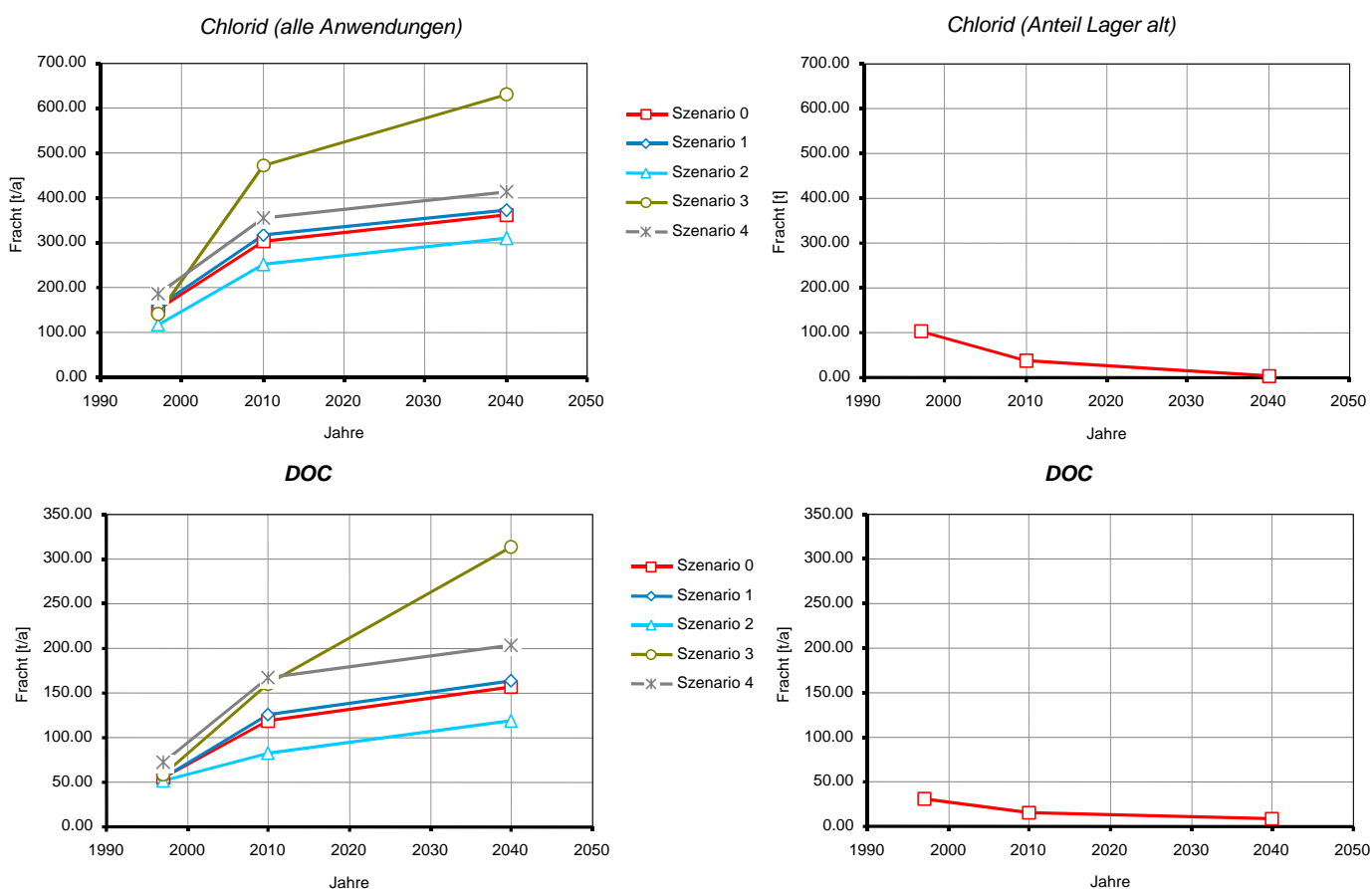


Abbildung 4-11: Totale Chlorid- und DOC-Frachten pro Jahr aus allen Anwendungen zusammen (Grafik links). Grafik rechts zeigt den Anteil des "Lager alt" (vgl. dazu Kap. 4.1.3.) an der totalen Chlorid-Fracht.

Szenario 0: Zustand 1997  
 Szenario 1: maximale Ressourcenschonung  
 Szenario 2: maximaler Grundwasserschutz  
 Szenario 3: Zusammenbruch Aufbereitung  
 Szenario 4: unsorgfältige Verwertung

**IMP**



**CONSULTEST AG**

Sowohl bei Chlorid wie auch bei DOC werden mit zunehmender Zeitdauer unter dem Szenario 3 die höchsten Schadstofffrachten ausgewaschen. Bei DOC hebt sich die Schadstofffracht aus Szenario 3 erst ab dem Zeitpunkt 2010 von Szenario 4 ab. Zum Zeitpunkt 1997 werden sowohl bei Chlorid wie auch bei DOC aus dem Szenario 4 die höheren Schadstofffrachten ausgewaschen (Kreuzung der jährlichen Frachtkurven). Dieser Zustand entsteht dadurch, dass die Schadstoffe in den Anwendungen des Szenario 4 (Pisten auf Baustellen, Parkplätze) aufgrund der geringen Mächtigkeit dieser Anwendungen schneller ausgewaschen werden (vgl. Einfluss der Geometrie, Kap. 4.2.1, Punkt 3).

Die jährlichen Frachtkurven (vgl. Abbildung 4-11) zeigen, dass in Szenario 4 bereits innerhalb von wenigen Jahren eine deutliche Abflachung stattfindet. Im Gegensatz dazu werden in den Anwendungen des Prozesses *Losser Einsatz ohne Abdeckung* unter Szenario 3 die Schadstoffe langsam ausgewaschen (entsprechend Abbildung 4-8, Anwendung Hinterfüllung). Die jährlichen Frachtkurven in Szenario 3 zeigen eine starke Zunahme der Frachten im Zeitablauf und eine geringere Tendenz zur Abflachung und somit zur Erreichung eines „steady-state“-Zustandes.

Die Szenarien 0 und 1 differieren bei beiden Schadstoffen nur gering. Szenario 1 weist jeweils in den Zeitpunkten 2010 und 2040 leicht höhere Schadstofffrachten auf.

Die Schadstofffrachten welche unter Szenario 2 ausgewaschen werden liegen rund 30% (Chlorid) bzw. 40% (DOC) unter den Werten der Szenarien 0 und 1.

Im Zeitpunkt 1997 werden zwischen 50% - 80% der Chlorid- und 40% - 60% der DOC-Frachten aus dem „Lager alt“ (Lagerbestand der Anwendung vor 1997) ausgewaschen. Der Lagereinfluss nimmt über den Zeitverlauf kontinuierlich ab.

## Schadstofffrachten aus den verschiedenen Anwendungen

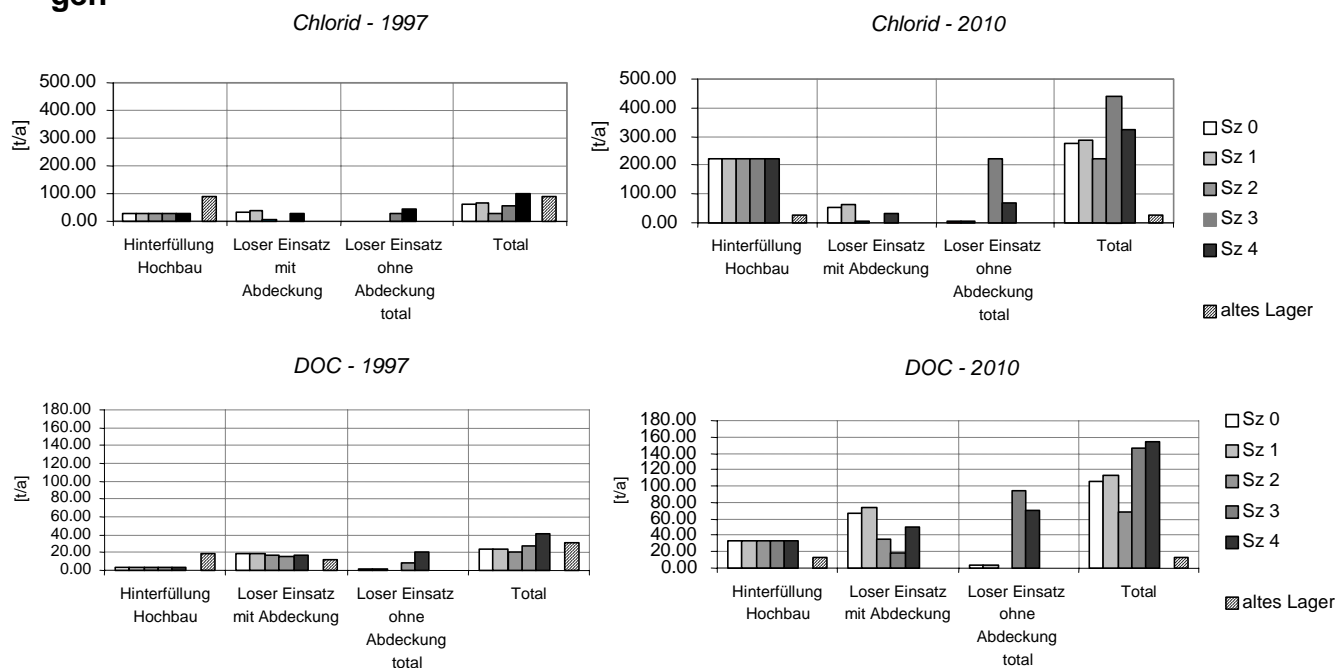


Abbildung 4-12: Jährliche Chlorid- und DOC-Frachten aus den verschiedenen Anwendungen zu den Zeitpunkten 1997 und 2010

Der total lösbarer Chloridgehalt ( $w_{s0}$ ) in den Materialien „Mischabbruch Eingang“ (Mischabbruch welcher ohne Aufbereitung in die Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbau gelangt) sowie „Mischabbruchgranulat“ ist gemäss den Analyseresultaten etwa gleich gross (126 resp. 120 mg/kg, vgl. Anhang 3.7). Die total lösbaren Chloridgehalte der anderen Materialien sind deutlich kleiner. Die starke Gewichtung dieser beiden Materialien in Bezug auf die ausgewaschene Schadstofffracht wird in der Abbildung 4-12 sichtbar. Hohe Chloridfrachten werden hauptsächlich aus den Anwendungen ausgewaschen, in welchen grosse Mengen „Mischabbruch Eingang“ oder „Mischabbruchgranulat“ eingesetzt werden (vgl. Punkt 1, Kap. 4.2.1). Dies betrifft die Anwendungen Illegale Hinterfüllung Hochbauten in allen Szenarien sowie Loser Einsatz ohne Abdeckung in den Szenarien 3 und 4.

Der Inputfluss in den Prozess *Illegale Hinterfüllung Hochbauten* ist für alle Szenarien in Bezug auf Masse und Materialqualität gleich (vgl. Abbildungen 3-6 und 3-7; Innerer Fluss „Vermischtes“ von *Hochbauten* zu *Illegale Hinterfüllung HB*). Daher unterscheiden sich die Frachten innerhalb der verschiedenen Szenarien in der Anwendung *Illegale Hinterfüllung Hochbauten* nicht.

**IMP**



**CONSULTEST AG**

Die jährlichen Chlorid-Frachten aus der Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbauten liegen für den Zeitpunkt 1997 lediglich aufgrund des Einflusses des "Lagers alt" deutlich über den Werten der anderen Anwendungen. Betrachtet man nur den jährlichen Input sowie das neu entstehende Lager, sind in der Anwendung loser Einsatz mit Abdeckung (Strassen/Plätze) die ausgewaschenen Frachten zu diesem Zeitpunkt höher als in der Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbau. Für den Zeitpunkt 2010 liegen die Frachten aus der Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbau dann um einen Faktor 5 höher als in der Anwendung loser Einsatz mit Abdeckung (Strassen/Plätze). Dabei ist die starke Erhöhung nicht auf das "Lager alt" zurückzuführen, sondern auf den Verlauf der jährlichen Schadstofffracht: In der Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbau erreicht Chlorid erst nach ca. 60 Jahren einen steady-state in der Auswaschung. In der Anwendung loser Einsatz mit Abdeckung (Strassen/Plätze) wird nach einem steilen Anstieg der jährlichen Frachtkurve in der Anfangsphase bereits nach 5 Jahren ein steady-state erreicht und die jährliche Chloridfracht steigt nicht mehr weiter an (vgl. Abbildung 4-13 und Abbildung 4-14).

Der total lösbarer DOC-Gehalt liegt im Material „Mischabbruch Eingang“ leicht höher als im entsprechenden Sekundärbaustoff „Mischabbruchgranulat“. Der höchste lösbare DOC-Gehalt weist das Produkt „Betongranulat“ auf. Ebenfalls haben die Materialien „Recyclingkies A“ sowie „Asphaltgranulat mit Bitumen“ lösbare DOC-Gehalte in der Grössenordnung des Materials „Mischabbruchgranulat“.

Die breite Verteilung von auswaschbaren DOC-Gehalten zeigt sich auch in der Darstellung der jährlichen Frachten der verschiedenen Prozesse (Abbildung 4-12):

Die grössten DOC-Frachten werden aus den Anwendungen des Prozesses *loser Einsatz ohne Abdeckung* in den Szenarien 3 und 4 ausgewaschen. Daneben treten hohe Frachten auch in der Anwendung loser Einsatz mit Abdeckung (Strassen/Plätze) unter den Szenarien 0 und 1 sowie aus der Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbauten auf. Aufgrund der grossen DOC-Auswaschung der Anwendung loser Einsatz mit Abdeckung (Strassen/Plätze) unter Szenario 4 weist dieses Szenario gegenüber dem Szenario 3 die grösseren totalen DOC-Auswaschungen auf.



CONSULTEST AG

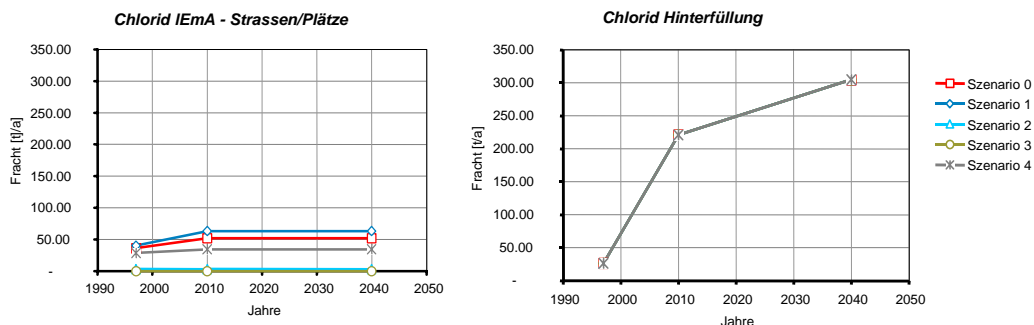


Abbildung 4-13: Jährliche Chlorid-Frachten aus den Anwendungen Loser Einsatz mit Abdeckung (Strassen/Plätze) und Illegale Hinterfüllung Hochbauten

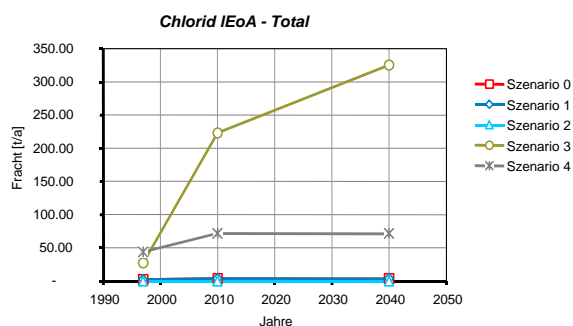


Abbildung 4-14: Jährliche Chlorid-Frachten aus den Anwendungen innerhalb des Prozesses Loser Einsatz ohne Abdeckung total

**Folgerungen:**

Die ausgewaschene Chloridfracht aus der Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbau ist vergleichbar mit der Chloridfracht aus den Anwendungen des Prozesses *Loser Einsatz ohne Abdeckung für das Szenario 3*. Ähnlich wie in der Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbauten werden die Chloridfrachten aus den Anwendungen des Prozesses *Loser Einsatz ohne Abdeckung* (Hinterfüllung verboten, Auffüllung von Kiesgruben) langsam ausgewaschen.

**b) Parameter Chrom VI und Zink**  
**Schadstofffrachten total aus dem Gesamtsystem**

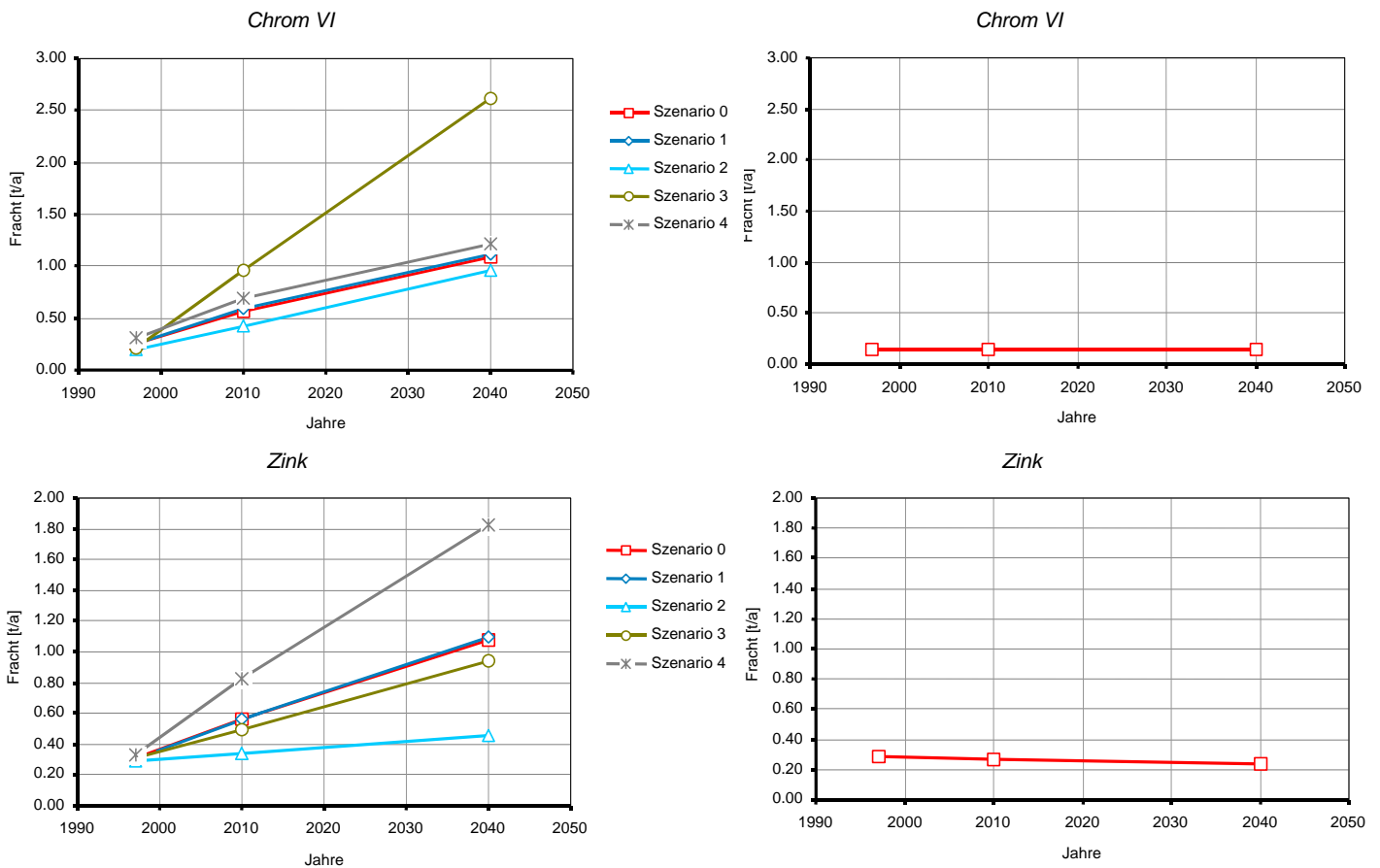


Abbildung 4-15: Totale Chrom VI- und Zink-Frachten pro Jahr aus allen Anwendungen zusammen (Grafik links). Grafik rechts zeigt den Anteil des "Lager alt" an der totalen Chlorid- resp. Zink-Fracht.

**IMP**



**CONSULTEST AG**

Die höchsten Chrom-Frachten werden unter Anwendung des Szenario 3 festgestellt. Sie liegen um 50% (2010) höher als bei den Szenarien 0 und 1 und um 30% höher als unter Szenario 4. Die Chrom-Fracht für Szenario 2 liegt für den Zeitpunkt 2010 um 30% unter den Werten für die Szenarien 0 und 1. Die Szenarien 0 und 1 differieren untereinander nur sehr gering. Szenario 4 weist Frachten auf, welche um 25% (2010) höher sind als bei den Szenarien 0 und 1. Zum Zeitpunkt 1997 findet unter Szenario 4 noch die grösste Chrom VI-Auswaschung statt (vgl. Überschneidung der Kurven von Szenario 3 und 4 in Abbildung 4-15). Dieser Zustand ist darauf zurückzuführen, dass in den Anwendungen Parkplätze sowie Pisten auf Baustellen unter Szenario 4 die Kurve der jährlichen Fracht sehr steil ansteigt und eine schnelle Abflachung erreicht (schnelle Auswaschung). Im Gegensatz dazu steigt die Kurve der jährlichen Fracht aus den Anwendungen Hinterfüllung verboten und Auffüllung von Kiesgruben in Szenario 3 nur langsam an und flacht praktisch nicht ab. Daher treten die höheren Chrom VI-Frachten in Szenario 3 erst ab dem Zeitpunkt 2010 in Erscheinung.

Der Parameter Zink ist nur in den Materialien „Mischabbruchgranulat“ sowie „Mischabbruch Eingang“ relevant. Zink wurde in den übrigen Materialien nicht beprobt. Da beim Parameter Zink die Auswaschparameter sehr ungenau angepasst werden konnten, ist eine detaillierte Interpretation sehr heikel.

Die höchsten Zink-Frachten werden unter Szenario 4 ausgewaschen. Die Auswaschungen in den Szenarien 0 und 1 liegen leicht höher als im Szenario 3. Diese Situation tritt auf, weil aufgrund der geringen Mächtigkeit in den relevanten Anwendungen der Szenarien 0 und 1 die berechnete Fläche gegenüber den Anwendungen in Szenario 3 stark erhöht ist. Diese Erhöhung vermag die höheren Massenflüsse des Materials „Mischabbruch Eingang“ in Szenario 3 gegenüber den Massenflüssen „Mischabbruchgranulat“ in den Szenarien 0 und 1 zu kompensieren (vgl. Tabelle 3-8).

In Szenario 2 werden lediglich Zink-Frachten aus der Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbauten ausgewaschen.

## Schadstofffrachten aus den verschiedenen Anwendungen

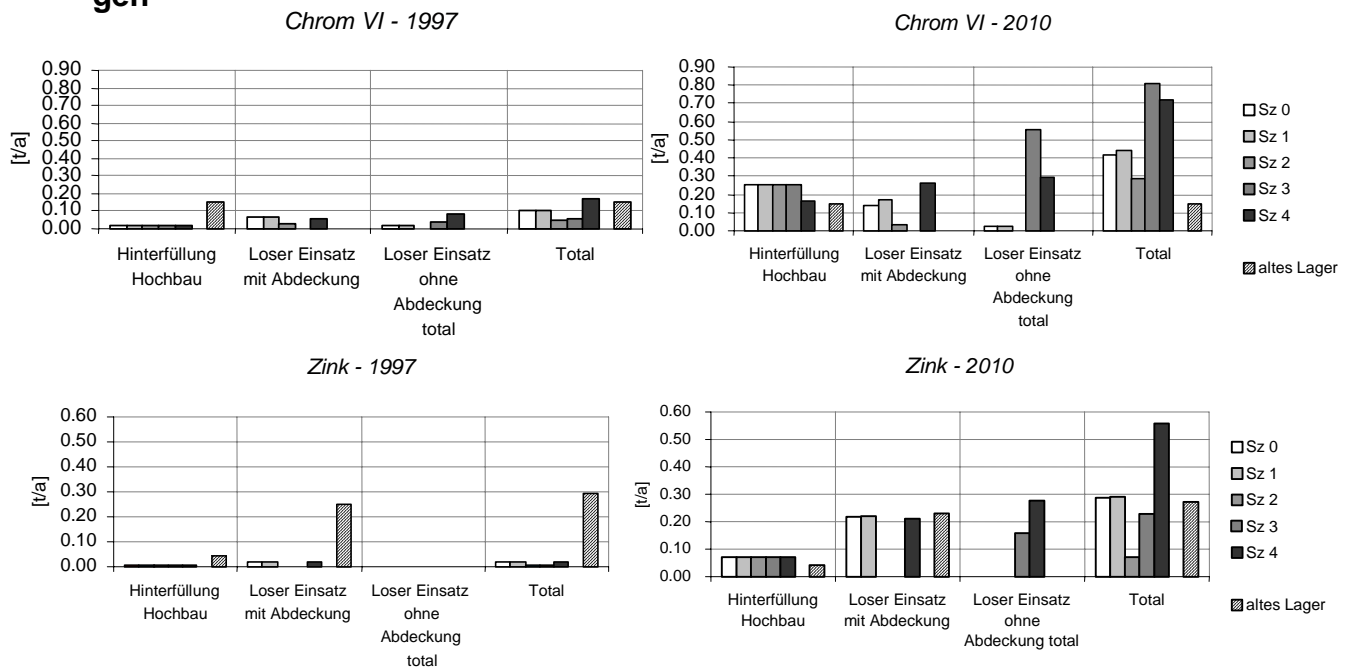


Abbildung 4-16: Jährliche Chrom VI- und Zink-Frachten aus den verschiedenen Anwendungen

Der totale lösliche Chrom VI-Gehalt von „Mischabbruch Eingang“ liegt einen Faktor 30 über den löslichen Chrom VI-Gehalten von „Mischabbruchgranulat“ und „Betongranulat“. Die Anwendungen illegale Hinterfüllung Hochbauten bei allen Szenarien sowie die Anwendungen im Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung* in Szenario 3 sind daher für die Chrom VI-Auswaschungen dominant.

Die höchsten Chrom VI-Frachten werden aus den Anwendungen des Prozesses *Loser Einsatz ohne Abdeckung* unter Szenario 3 sowie rund 50% davon unter Szenario 4 ausgewaschen. Die Chrom VI-Auswaschungen unter Szenario 4 sind in den Anwendungen Strassen/Plätze sowie in den Anwendungen des Prozesses *Loser Einsatz ohne Abdeckung* vergleichbar (Zustand 2010).

Die total löslichen Zinkgehalte liegen für die Materialien „Mischabbruch Eingang“ und „Mischabbruchgranulat“ in der gleichen Größenordnung. Da Zink und Chrom VI sehr langsam ausgewaschen werden, sind die Auswaschungen aus dem „Lager alt“ 1997 aber auch im Zeitpunkt 2010 von grosser Bedeutung. Die ausgewaschenen Schadstoffkonzentrationen bleiben über einen langen Zeitraum sehr hoch (vgl. Kapitel 4.2.1.). Beim Schadstoff Zink ist dieser Effekt aber noch deutlicher ausgeprägt als bei Chrom VI. Daher ist in Abbildung 4-16 zum Zeitpunkt 2010 in der Anwendung

Strassen/Plätze (Prozess *Loser Einsatz mit Abdeckung*) eine hohe Zink-Fracht aus dem „Lager alt“ erkennbar.

Die höchsten Zink-Frachten werden unter Szenario 4 aus den Anwendungen des Prozesses *Loser Einsatz ohne Abdeckung* ausgewaschen. Rund 30% kleiner sind die Zink-Auswaschungen für die Szenarien 4, 2, 1 und 0 in der Anwendung Strassen/Plätze. Die Zink-Auswaschungen unter den Szenarien 4, 2, 1 und 0 sind in der Anwendung Strassen/Plätze vergleichbar.

### c) Parameter Ammonium, Nitrat, Nitrit, Sulfat Schadstofffrachten total aus dem Gesamtsystem

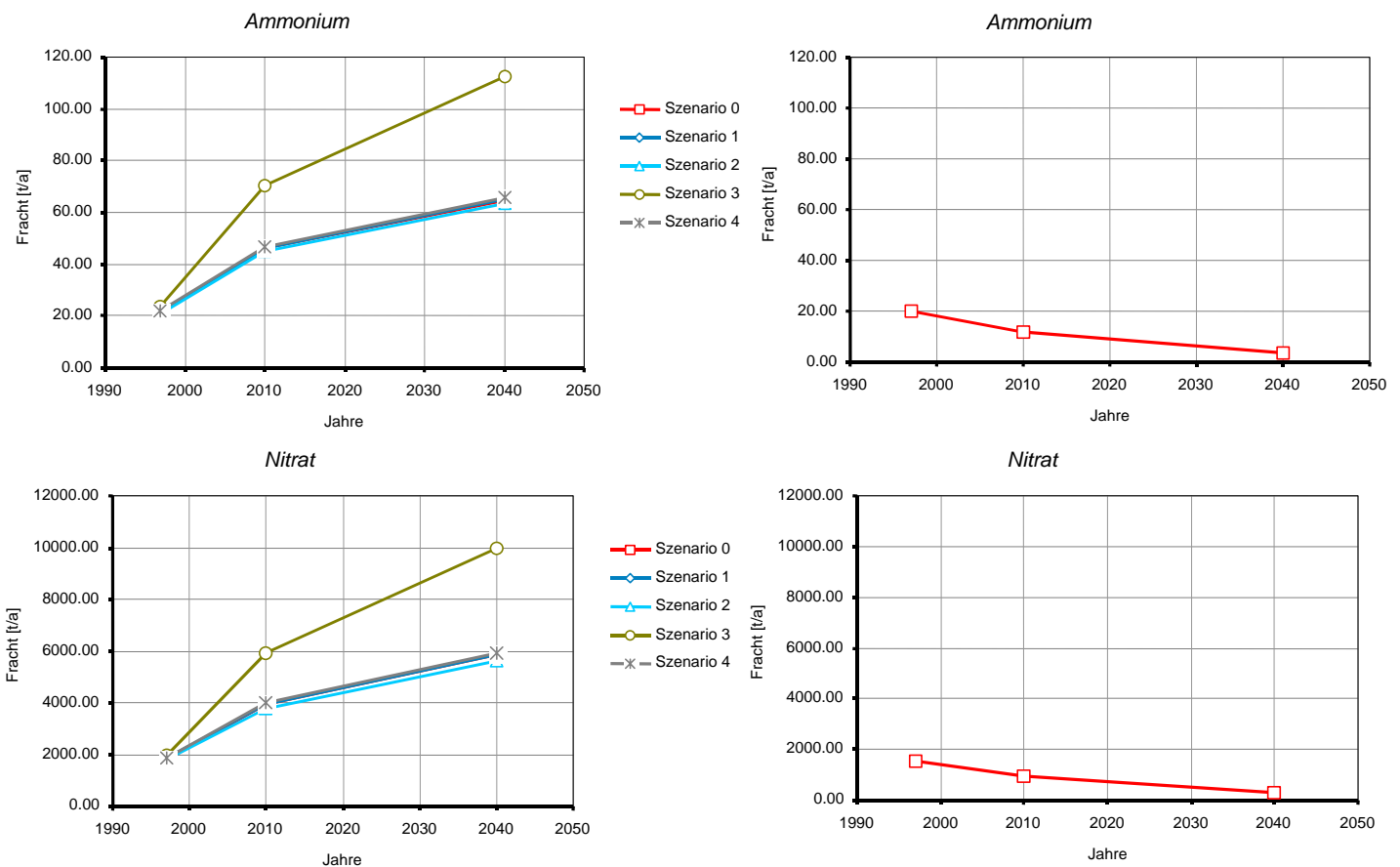


Abbildung 4-17: Totale Ammonium- und Nitrat-Frachten pro Jahr aus allen Anwendungen zusammen (Grafik links). Grafik rechts zeigt den Anteil des „Lager alt“ an der totalen Ammonium- resp. Nitrat-Fracht.

Sowohl bei Ammonium als auch bei Nitrat werden die höchsten Frachten ab dem Zeitpunkt 1997 aus dem Szenario 3 ausgewaschen. Rund 40% (2010) tiefer liegen die Ammonium- und Nitrat-

auswaschungen unter Szenario 4. Die ausgewaschenen Frachten unter den Szenarien 0 und 1 differieren nur unwesentlich. Die Auswaschungen aus Szenario 2 liegen für beide Parameter 5% (2010) tiefer als unter Anwendung der Szenarien 0 und 1.

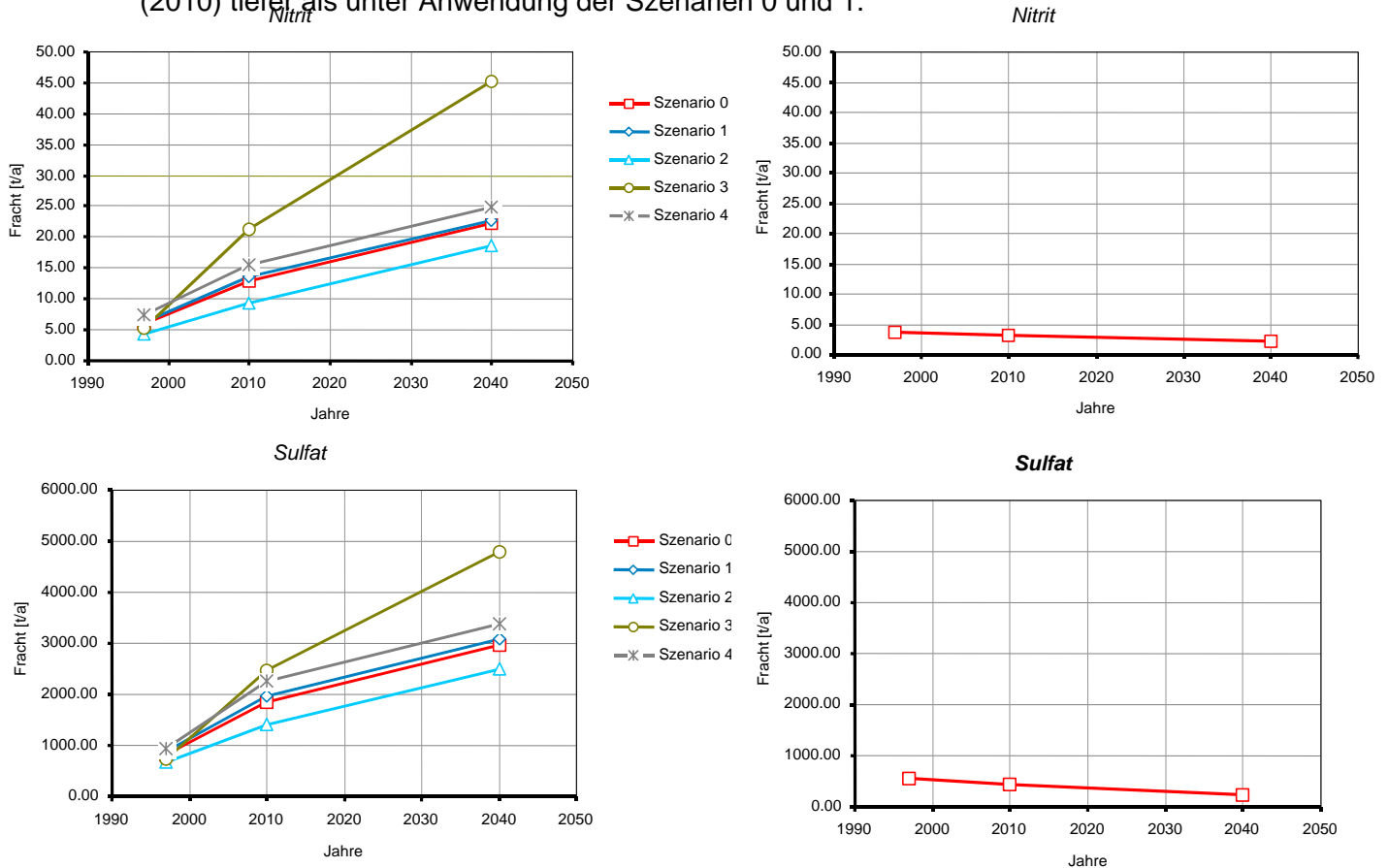


Abbildung 4-18: Totale Nitrit- und Sulfat-Frachten pro Jahr aus allen Anwendungen zusammen (Grafik links). Grafik rechts zeigt den Anteil des "Lager alt" an der totalen Nitrit- resp. Sulfat-Fracht.

Mittelfristig werden die höchsten Nitrit- und Sulfat-Frachten aus den Anwendungen unter Szenario 3 ausgewaschen. Im Zeitpunkt 1997 sind die Auswaschungen unter den Anwendungen in Szenario 4 noch leicht höher. Wiederum ist diese Differenz darauf zurückzuführen, dass die Anwendungen unter Szenario 4 aufgrund geringerer Mächtigkeiten eine schnelle Auswaschungscharakteristik aufweisen, welche in der Anfangsphase der Auswaschung zu höheren Schadstoffkonzentrationen führt.

Für beide Parameter weisen nach Szenario 3, die Anwendungen unter Szenario 4 die höchsten Auswaschungen auf. Im Gegensatz zu den Parametern Ammonium und Nitrat differieren die Nitrit- und Sulfatauswaschungen unter den Szenarien 4, 2, 1 und 0 deutli-

cher. Die kleinsten Nitrit- und Sulfat-Frachten werden erwartungsgemäss unter dem Szenario 2 ausgewaschen.

### Schadstofffrachten aus den verschiedenen Anwendungen

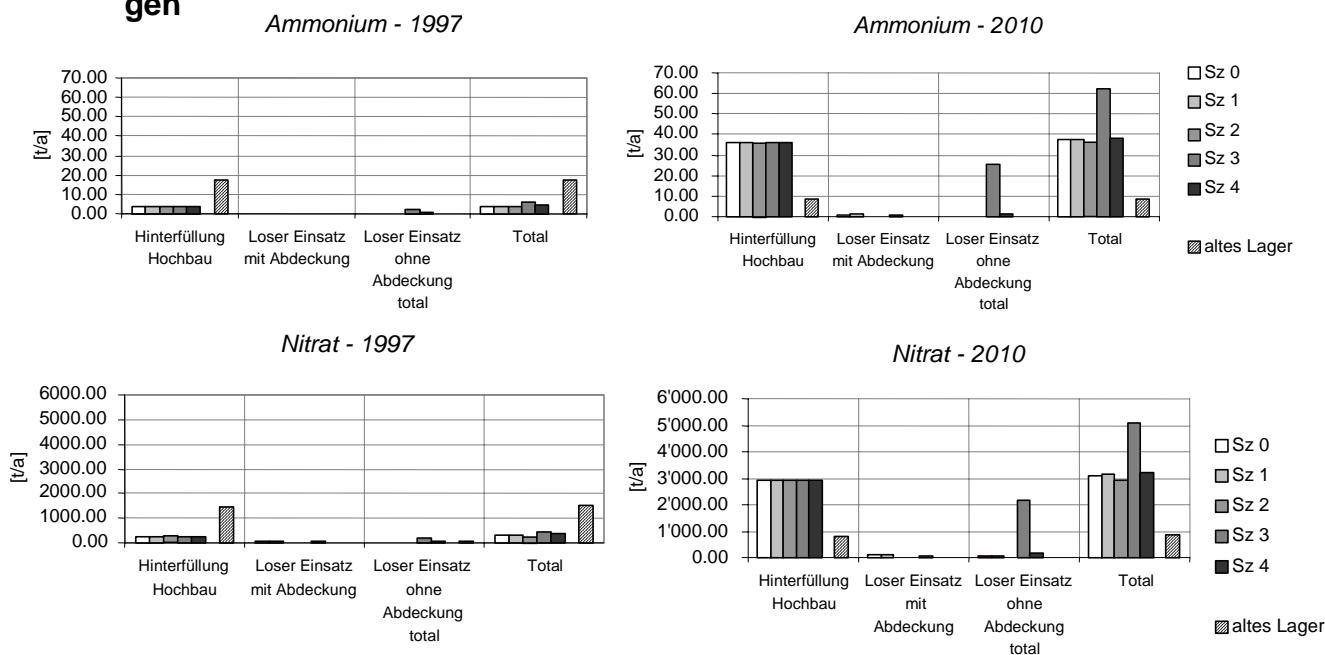


Abbildung 4-19: Jährliche Ammonium- und Nitrat-Frachten aus den verschiedenen Anwendungen

Die höchsten total löslichen Ammonium- und Nitratgehalte enthält das Bauabfallmaterial „Mischabbruch Eingang“. Gegenüber den Recyclingprodukten sind die total löslichen Ammoniumgehalte um einen Faktor 100, die Nitratgehalte mindestens um einen Faktor 10 erhöht. Aufgrund der hohen Relevanz des Abfallstoffes „Mischabbruch Eingang“ für die Schadstoffe Ammonium und Nitrat werden die ausgewaschenen Schadstofffrachten durch die Anwendung Illegale Hinterfüllung Hochbauten für alle Szenarien sowie durch die Anwendungen Hinterfüllung verboten und Auffüllung von Kiesgruben unter Szenario 3 (Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung*) bestimmt. Die Ammonium- und Nitratauswaschungen aus den anderen Anwendungen können vernachlässigt werden.

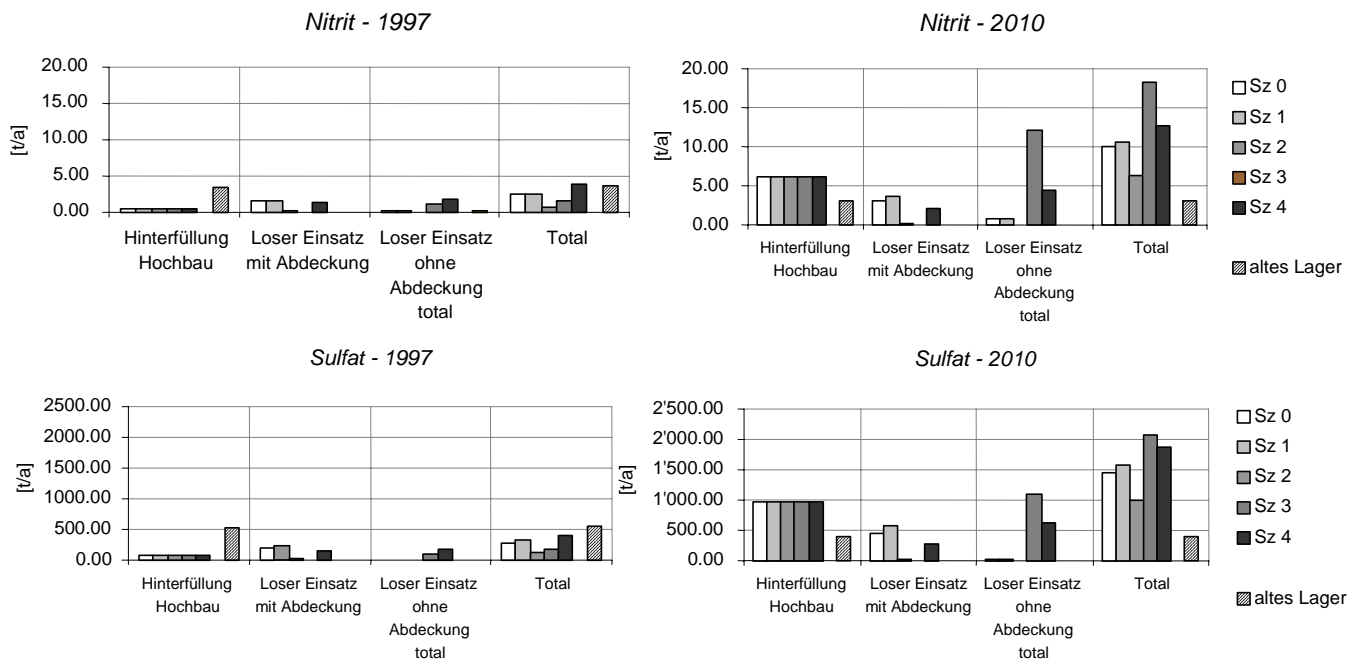


Abbildung 4-20: Jährliche Nitrit- und Sulfat-Frachten aus den verschiedenen Anwendungen

Die total löslichen Nitritgehalte im Abfallmaterial „Mischabbruch Eingang“ sind um einen Faktor 10 grösser als im Produkt „Mischabbruchgranulat“ sowie in den anderen Recyclingprodukten. Dies hat wiederum zur Folge, dass die Auswaschungen aus der Anwendung illegale Hinterfüllung Hochbauten sowie aus den Anwendungen Hinterfüllung verboten und Auffüllung von Kiesgruben ab dem Zeitpunkt 2010 dominiert werden. Die höheren Nitritfrachten zum Zeitpunkt 1997 sind auf die schnelle Auswaschung der Schadstoffe aus den Anwendungen unter Szenario 4 zurückzuführen.

Die beiden Materialien „Mischabbruch Eingang“ sowie das entsprechende Sekundärbaustoffprodukt „Mischabbruchgranulat“ weisen vergleichbare total lösliche Sulfatgehalte auf. Die total löslichen Gehalte der anderen Materialien liegen um einen Faktor 100 tiefer. Die höchsten Sulfatfrachten (2010) werden aus den Anwendungen Hinterfüllung verboten sowie Auffüllung von Kiesgruben (Prozess *Loser Einsatz ohne Abdeckung*) unter Szenario 3 ausgewaschen. Die Auswaschungen aus der Anwendung illegale Hinterfüllung Hochbauten für alle Szenarien sind zu diesem Zeitpunkt um 10% tiefer.

#### 4.2.3. Immissionen im Grundwasser

Die Resultate der Immissionsberechnungen werden in einer Grafik dargestellt, welche für jeden Parameter den prozentualen Anteil der Konzentrationserhöhung im Grundwasser an einem Referenzwert aufzeigt.



CONSULTEST AG

Als Referenzwerte wurden einerseits die Anforderungswerte an das Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird (schweizerische Gewässerschutzverordnung, GSchV, Anhang 2, Ziffer 22) und andererseits die Toleranz- und Grenzwerte der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) für Trinkwasser verwendet (bei Parametern, für die die Gewässerschutzverordnung keine numerischen Anforderungen enthält). Die verwendeten Referenzwerte für die jeweiligen Parameter sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Parameter	Referenzwert	[mg/l]
Chlorid	GSchV, Anforderung Grundwasser	40
Sulfat	GSchV, Anforderung Grundwasser	40
DOC	GSchV, Anforderung Grundwasser	2
Zink	FIV Toleranzwert für Trinkwasser	5
Nitrat	GSchV, Anforderung Grundwasser	25
Ammonium	GSchV, Anforderung Grundwasser	0.1
Nitrit	FIV Toleranzwert für Trinkwasser	0.1
Chrom VI	FIV Grenzwert für Trinkwasser	0.02

GSchV: Gewässerschutzverordnung vom 28.10.98, Anhang 2, Ziffer 22

FIV: Verordnung des EDI über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV vom 26. Juni 1995 (Stand am 21. Mai 2002))

Tabelle 4-2: Für die Gegenüberstellung verwendete Referenzwerte für die jeweiligen Parameter

### a) „Globale“ Sichtweise

In der „globalen“ Sichtweise wird der Einfluss der Schadstoffauswaschung von Sekundärbaustoffen auf die Qualität der gesamten Grundwasservorkommen der Schweiz abgeschätzt.

Die Zusatzbelastungen des Grundwassers zum Zeitpunkt 1997 als Anteile der Referenzwerte sind in der folgenden logarithmischen Darstellung zusammengefasst:

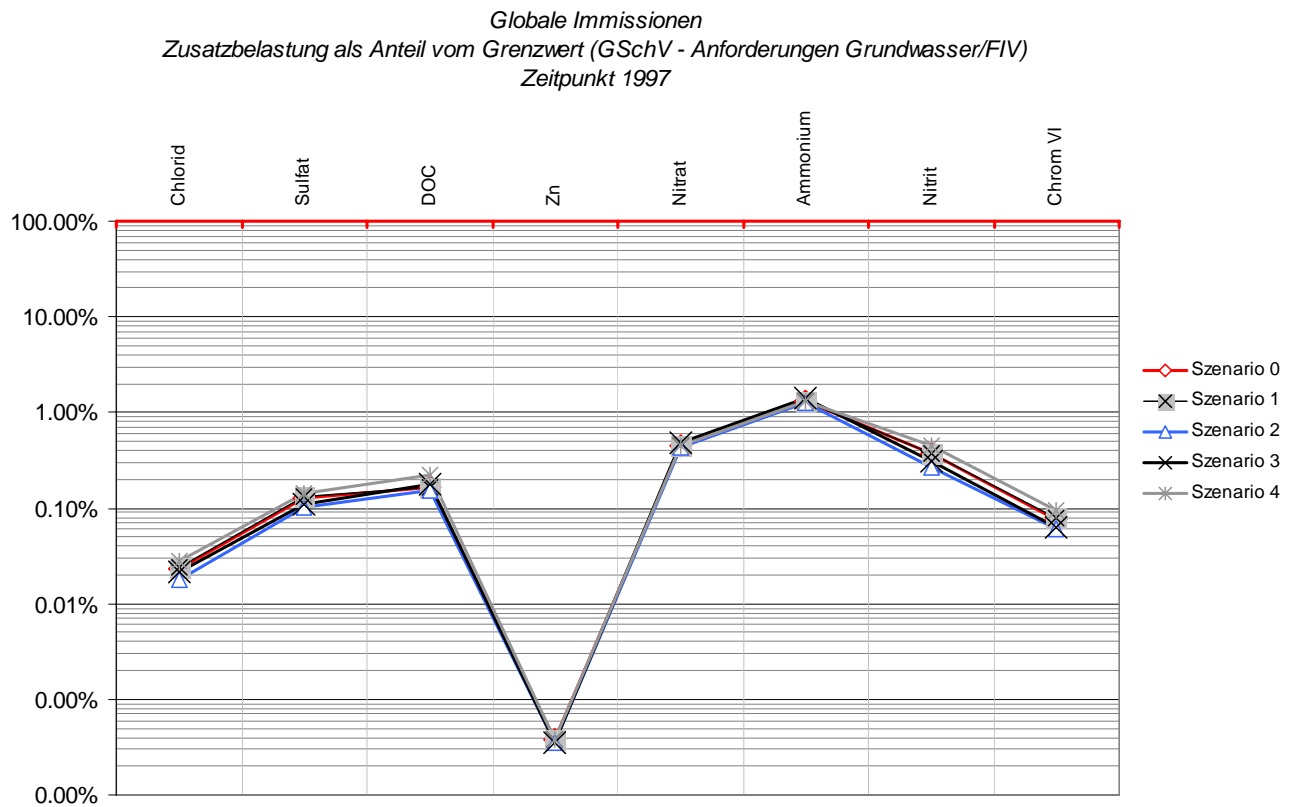


Abbildung 4-21: Zusatzbelastung im Grundwasser (globale Sichtweise) als Anteil des jeweiligen Referenzwertes gemäss Tabelle 4-2 zum Zeitpunkt 1997

Zum Zeitpunkt 1997 bewegen sich die Zusatzbelastungen der verschiedenen Schadstoffe im Bereich von 1‰ bis 0.1% (Chlorid, Zink und Chrom VI) oder im Bereich von 0.1% bis 1% des Referenzwertes (Sulfat, DOC, Nitrat, Nitrit). Die Zusatzbelastung von Ammonium liegt leicht über 1% des Anforderungswertes der GSchV von 0.1 mg/l.

Die höheren Gesamtfrachten der Schadstoffauswaschung **zum Zeitpunkt 2040** ergeben nach der Verdünnung gemäss globaler Sichtweise folgendes Bild (Abb. 4-22):

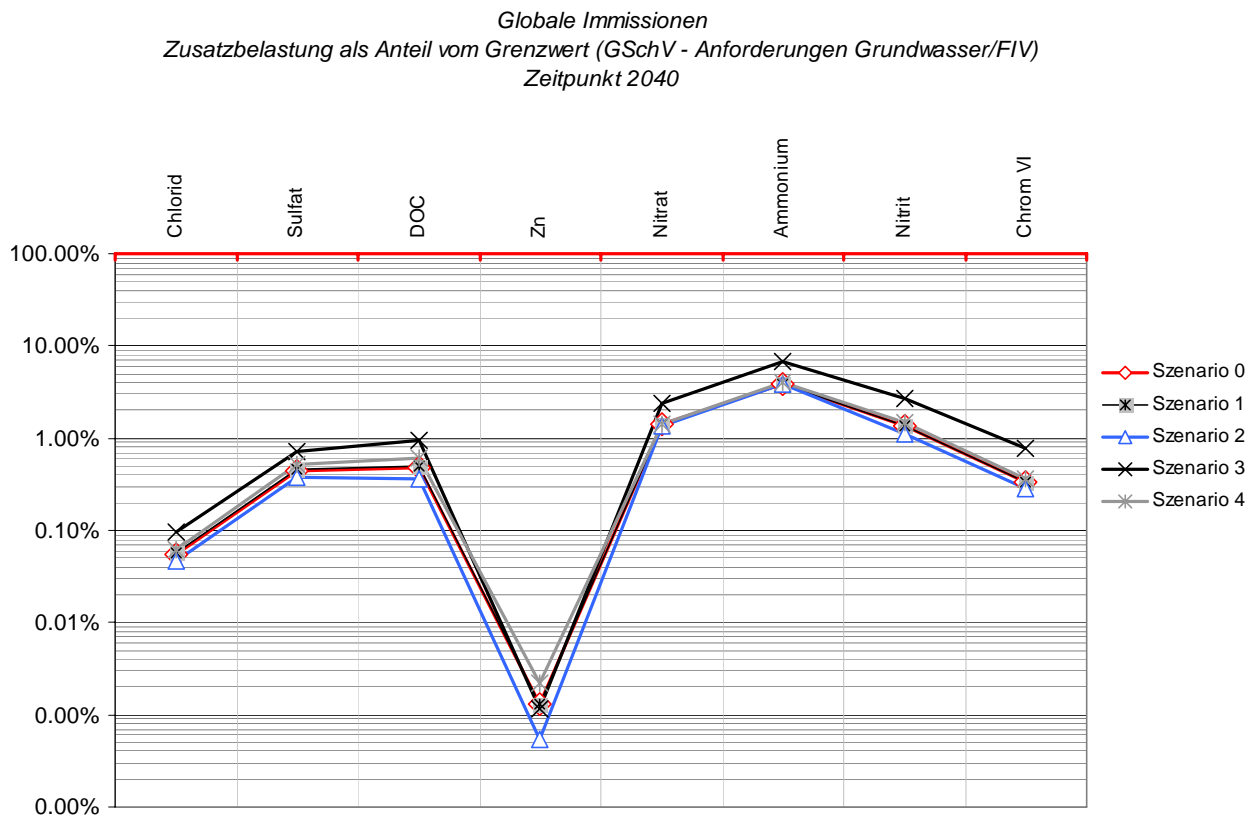


Abbildung 4-22: Zusatzbelastung im Grundwasser (globale Sichtweise) als Anteil des jeweiligen Referenzwertes gemäss Tabelle 4-2 zum Zeitpunkt 2040

Die Parameter Nitrat, Ammonium und Nitrit weisen für den Zustand 2040 einen Anteil am jeweiligen Referenzwert auf, der zwischen 1 % bis maximal ca. 7 % liegt. Die restlichen Werte liegen unterhalb der 1%-Grenze.

### b) Lokale Betrachtung

In der lokalen Betrachtung wird der potenzielle Einfluss der Schadstoffauswaschung auf Grundwasservorkommen in Siedlungsgebieten abgeschätzt. Die vorliegenden Resultate dürften aufgrund der Annahme, dass die Grundwasserneubildung lediglich über Siedlungsflächen stattfindet und keine zusätzliche Verdünnung besteht, etwas überhöht sein. Trotzdem muss davon ausgegangen werden, dass in einer ungünstigen lokalen Situation mit einem starken Siedlungseinfluss im Einzugsgebiet die Grundwasserbelastung zum Teil nahe an die Referenzwerte reichen könnte:

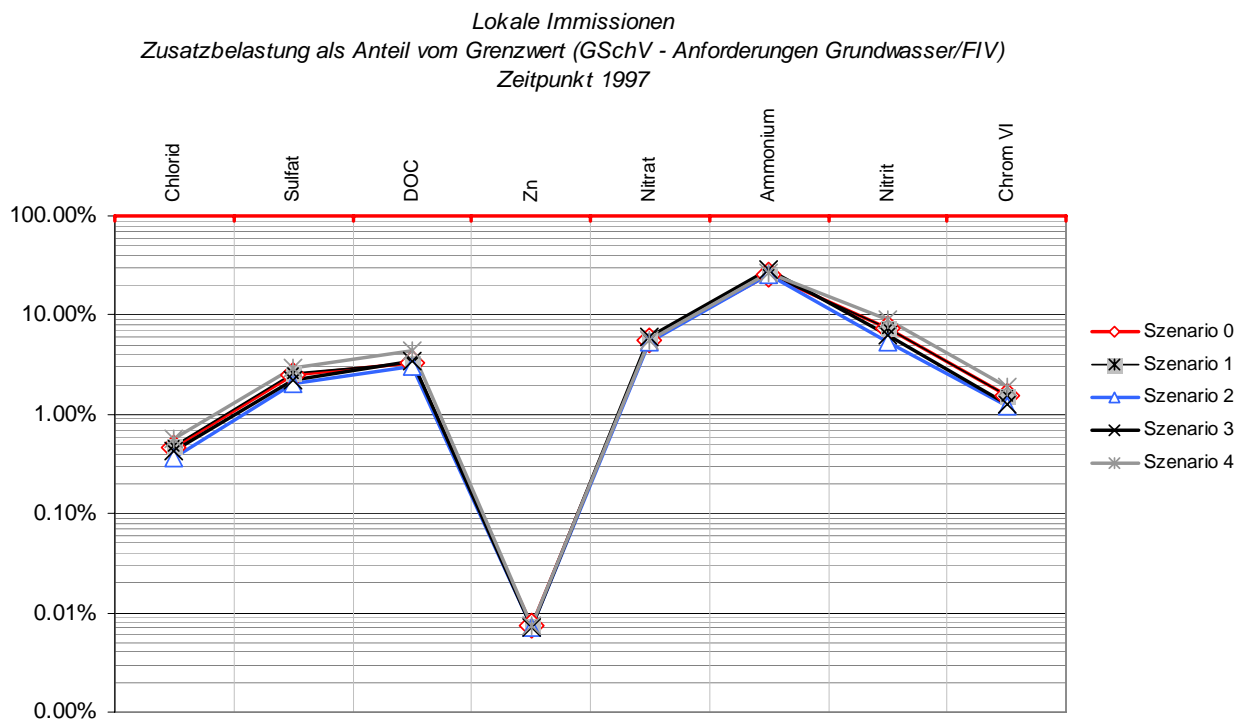


Abbildung 4-23: Zusatzbelastung im Grundwasser (lokale Sichtweise) als Anteil des jeweiligen Referenzwertes gemäss Tabelle 4-2 zum Zeitpunkt 1997

Zum Zeitpunkt 1997 weist der Parameter Ammonium eine Zusatzbelastung von 25% am Anforderungswert der GSchV auf.

Ebenfalls relativ hoch mit Anteilen im %-Bereich sind die Zusatzbelastungen der Parameter Nitrat (um 6%) sowie Nitrit (7-9%).

Die restlichen Parameter weisen Werte auf, die bei allen Szenarien kleiner sind als ca. 5% des jeweiligen Referenzwertes.

Die Parameter Chlorid (0.5%) und Zink (0.1‰) weisen relativ geringe Zusatzbelastungen auf.

Die höheren Gesamtfrachten der Schadstoffauswaschung zum **Zeitpunkt 2040** ergeben nach der Verdünnung gemäss lokaler Sichtweise folgendes Bild:

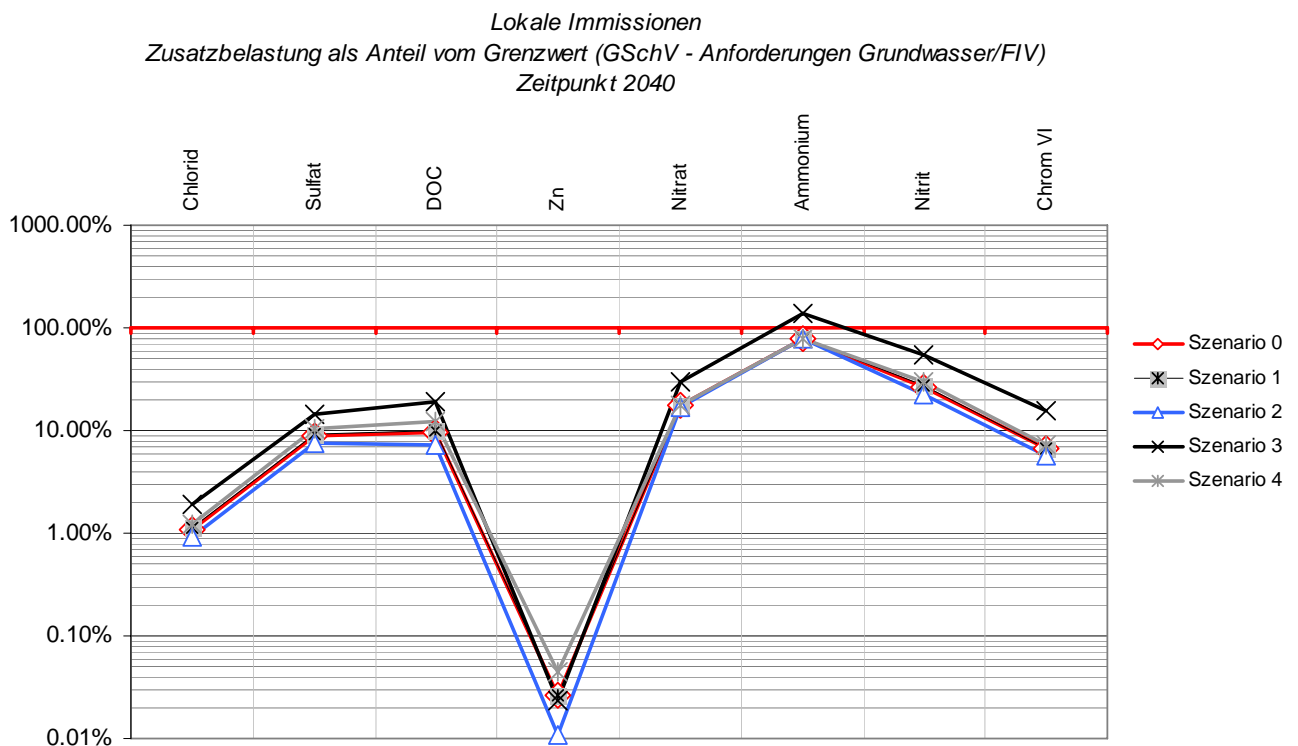


Abbildung 4-24: Zusatzbelastung im Grundwasser (lokale Sichtweise) als Anteil eines Referenzwertes zum Zeitpunkt 2040

Die Parameter Sulfat, DOC, Nitrat, Ammonium, Nitrit und Chrom weisen zum Zeitpunkt 2040 Zusatzbelastungen auf, die im Bereich von 10% des jeweiligen Referenzwertes oder deutlich darüber liegen. Insbesondere die Zusatzbelastungen des Ammoniums (in der Grössenordnung des Grenzwertes der Anforderungen an das Grundwasser gemäss GSchV) sowie Nitrat (20 – 30 % der Anforderungen ans Grundwasser gemäss GschV) und Nitrit (20 – 60 % des Toleranzwertes für Fremd- und Inhaltsstoffe für Trinkwasser gemäss FIV) treten deutlich hervor.

Weniger erheblich sind die Zusatzbelastungen durch die Parameter Chlorid und Zink.

Allerdings ist bei der obigen Betrachtung zu beachten, dass die Auswaschung aus den angenommenen illegalen Hinterfüllungen

vollumfänglich in die Berechnung der Konzentrationserhöhungen eingerechnet wurden. Wie schon in Kap. 4.2.2 ersichtlich, sind diese Auswaschungen gegenüber jenen aus den Sekundärbaustoffen dominant. Nachfolgend werden deshalb die Konzentrationserhöhungen ohne diese Anteile dargestellt (Abb. 4-25):

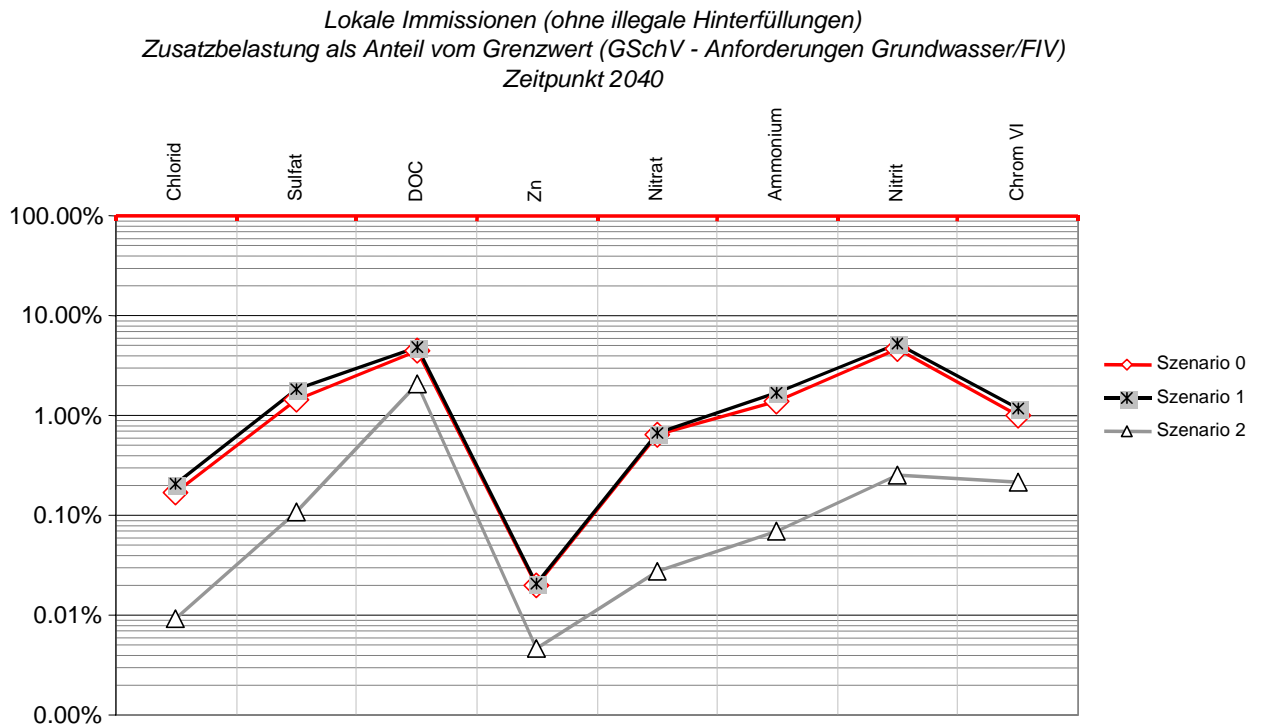


Abbildung 4-25: Konzentrationserhöhungen im Grundwasser (lokale Sichtweise) als Anteil eines Referenzwertes zum Zeitpunkt 2040 ohne illegale Hinterfüllungen

Aus der Abbildung 4-25 wird ersichtlich, dass die Zusatzbelastungen ohne illegale Hinterfüllungen um einen Faktor 10 bis 100 tiefer liegen würden. Die Darstellung zeigt nur die Szenarien 0, 1 und 2, welche auf der Annahme basieren, dass der vorschriftsmässige Vollzug gewährleistet ist. Bei den Szenarien 3 und 4 wird von einem grossen Anteil illegale Hinterfüllungen ausgegangen. Die beiden Szenarien verlieren ohne die Berücksichtigung der illegalen Hinterfüllungen ihre Aussagekraft und werden deshalb nicht dargestellt.

**IMP**

## 4.3. Zusammenfassung und Folgerungen

---

Im Teilprojekt 1b (Schadstoffauswaschung und Belastung des Grundwassers aus den Sekundärbaustoffen, Kapitel 4) wurde in einem ersten Teilschritt die Auswaschung von Schadstoffen unter Berücksichtigung der in der Stoffflussanalyse (Teilprojekt 1a, Kapitel 3) eruierten Verwertungen verschiedener Sekundärbaustoffe (Verwertungen in verschiedenen Anwendungsprozessen, Szenarienbetrachtung) modelliert (Emissionen).

In einem zweiten Teilschritt wurden die Auswirkungen dieser Auswaschungen auf das Grundwasser untersucht (Immissionen). Dabei wurde einerseits eine allgemeine Verdünnungsrechnung durchgeführt, welche aufzeigen soll, mit welcher potenziellen Erhöhung der Schadstoffkonzentrationen im „gesamtschweizerischen“ Grundwasser gerechnet werden muss (globale Sichtweise). Andererseits wurde anhand einer weiteren Verdünnungsrechnung aufgezeigt, welche Erhöhungen durch das Zusammentreffen ungünstigerer Umstände (geringe Distanz zum Emissionsbereich, geringe Verdünnung, grosser Einfluss des Siedlungsgebietes) lokal auftreten können (lokale Sichtweise).

### 4.3.1. Schadstoffauswaschungen (Emissionen)

Die Schadstoffauswaschungen aus den verschiedenen Anwendungen werden von verschiedenen Faktoren mehr oder weniger stark beeinflusst. Die Szenarienbetrachtung lässt Schlüsse zur Bedeutung der einzelnen Faktoren. In der Reihenfolge dieser Bedeutung sind die wichtigsten Einflussfaktoren im folgenden zusammengefasst:

#### 1. Schadstoffgehalt im Mischabbruch – Abscheidung durch den Prozess *Sortierung und Aufbereitung*

Die Abscheidung der Schadstoffe durch den Prozess *Sortierung und Aufbereitung* im Mischabbruch dominiert die resultierenden Emissionen über alle Szenarien. Dies lässt sich folgendermassen verdeutlichen:

##### a) Grösste Emissionen im Szenario 3:

Das Szenario 3 beschreibt den Zustand „Zusammenbruch Aufbereitung“. Dabei wird angenommen, dass die Schadstoffgehalte der in den Anwendungen eingesetzten Formen des Mischabbruchs jenen des „Mischabbruch Eingang“ entsprechen. Die resultierenden Emissionen im Szenario 3 werden dadurch gegenüber den anderen Szenarien signifikant höher.

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

**IMP**



**CONSULTEST AG**

b) Hohe Emissionen aus dem Prozess Illegale Hinterfüllung HB:

In allen Szenarien ist der Anteil der Schadstoffauswaschungen aus dem Prozess Illegale Hinterfüllung Hochbau bei allen Parametern signifikant, bei vielen sogar dominant. Dies ist der Fall, obwohl die gesamte Menge dieser Hinterfüllungen kleiner ist als jene der total eingesetzten Sekundärbaustoffe. Auch bei den Illegalen Hinterfüllung Hochbau wird angenommen, dass die Schadstoffgehalte jenen des „Mischabbruch Eingang“ entsprechen. Die Dominanz dieser Auswaschungen ist deshalb ebenfalls auf den hohen Schadstoffgehalt im „Mischabbruch Eingang“, bzw. auf die nicht erfolgte Abscheidung im Prozess „Sortierung und Aufbereitung“ zurückzuführen.

**2. Verteilung der Sekundärbaustoffe auf Prozesse mit unterschiedlicher „Auswaschungsrelevanz“**

Beim Prozess *loser Einsatz ohne Abdeckung* ist die gesamte eingebaute Menge der Sekundärbaustoffe der Auswaschung ausgesetzt (d.h. dieser Prozess hat die grösste „Auswaschungsrelevanz“). Im Prozess *loser Einsatz mit Abdeckung* wird im Modell angenommen, dass insgesamt nur noch 30% der gesamten auswaschbaren Schadstoffe effektiv ausgewaschen werden können (kleinere „Auswaschungsrelevanz“). In den restlichen Prozessen (Hochbau, bituminöser Belag und Betonbelag, Deponien) wird die Auswaschung ganz vernachlässigt (keine „Auswaschungsrelevanz“). Aufgrund dieser Annahmen ist es einleuchtend, dass sich bei einer anderen Verteilung der Sekundärbaustoffe auf diese Prozesse ein Einfluss auf die totalen Schadstoffemissionen manifestiert.

Insgesamt kann der Einfluss der verschiedenen Szenarien auf die totalen Schadstoffemissionen im Vergleich zu Punkt 1 als klein (Szenario 1) bis mittel (Szenarien 2, 3, 4) beurteilt werden.

Der kleine Einfluss bei Szenario 1 „max. Ressourcenschonung“ (geringfügig höhere Schadstoffauswaschungen) ergibt sich aus der kleinen Deponierungsrate bei den Bauabfällen. Dadurch ist der mengenmässige Spielraum für eine Umverteilung der Materialien gering, d.h. es werden nur wenig mehr Sekundärbaustoffe in „auswaschungsrelevantere“ Prozesse transferiert.

In den Szenarien 2, 3 und 4 ist der mengenmässige Spielraum für die Umverteilung der Materialien grösser. Die Richtung der Veränderung erfolgt wie erwartet (weniger Auswaschung in Szenario 2 „max. Grundwasserschutz“, mehr Auswaschung in den Szenarien 3 „Zusammenbruch Aufbereitung“ und 4 „unsorgfältige Verwendung“).

**IMP**



**CONSULTEST AG**

### 3. Zeitlicher Verlauf der Auswaschung

Das Auswaschverhalten für die verschiedenen Parameter im zeitlichen Verlauf ist in sich selbst abhängig von zwei unterschiedlichen „Teil-Einflüssen“, nämlich einerseits vom schadstoffspezifischen Auswaschverhalten (vgl. Kap. 4.2.1, Punkt 2), andererseits von der Geometrie der Anwendung (vgl. Kap. 4.2.1, Punkt 3).

In Bezug auf die totale Schadstoffauswaschung ist der Einfluss des zeitlichen Verlaufs der Auswaschung nur insofern relevant, als er darüber bestimmt, ob für einen bestimmten Schadstoff bei einem bestimmten Szenario der „steady-state“ (vgl. dazu Kap. 4.2.1, Punkt 3) innerhalb des betrachteten Zeitraumes (1997 – 2040) erreicht wird oder nicht<sup>15</sup>.

Zusammenfassend können die Resultate für die verschiedenen Szenarien folgendermassen kommentiert werden:

#### a) Szenarien 0, 1, 2 und 4:

Der „Teil-Einfluss“ des schadstoffspezifischen Auswaschverhaltens ist hier dominant. Die einzelnen Schadstoffe können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

##### - **Gruppe 1: Chlorid und DOC - schnelle Auswaschung**

Der „steady-state“ wird beinahe vollständig erreicht. Die in den Kreislauf zurückgeführten Sekundärbaustoffe (nun wieder Bauabfälle) sind praktisch vollständig ausgewaschen.

---

<sup>15</sup> Bei einer Betrachtung der Auswaschung über den betrachteten Zeitraum hinaus würde jeder Parameter irgendwann den „steady-state“ erreichen. Das Niveau des „steady-state“ (flacher Teil der Summenkurve) ergibt sich aus dem Produkt des total auswaschbaren Schadstoffgehalts mit der Gesamtmenge (Einflussfaktoren gemäss Punkt 1 und 2).

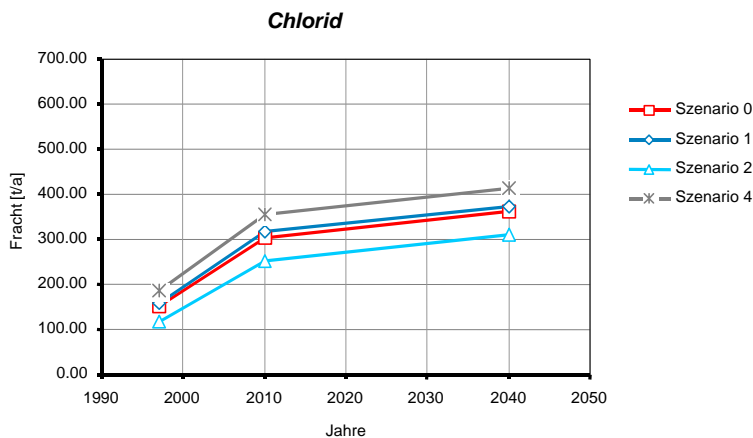


Abbildung 4-26: Totale Chlorid-Frachten aus allen Anwendungen zusammen für die Szenarien 0, 1, 2 und 4

- **Gruppe 2: Ammonium, Nitrit, Nitrat, Sulfat - mittlere Auswaschung**

Der „steady-state“ wird nicht vollständig erreicht, die Abflachung der Summenkurve ist aber bereits deutlich. Die in den Kreislauf zurückgeführten Bauabfälle enthalten noch ein gewisses Schadstoffpotenzial.

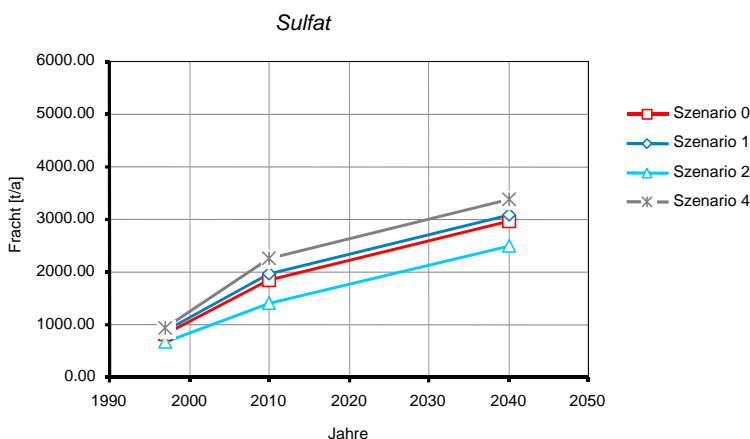


Abbildung 4-27: Totale Sulfat-Frachten aus allen Anwendungen zusammen für die Szenarien 0, 1, 2 und 4

- **Gruppe 3: Zink und Chrom VI - langsame Auswaschung**

Die Auswaschung ist noch weit entfernt vom „steady-state“, es ist praktisch keine Abflachung der Summenkurve erkennbar. Die in den Kreislauf zurückgeführten Bauabfälle bringen ein grosses Schadstoffpotenzial in das System zurück.

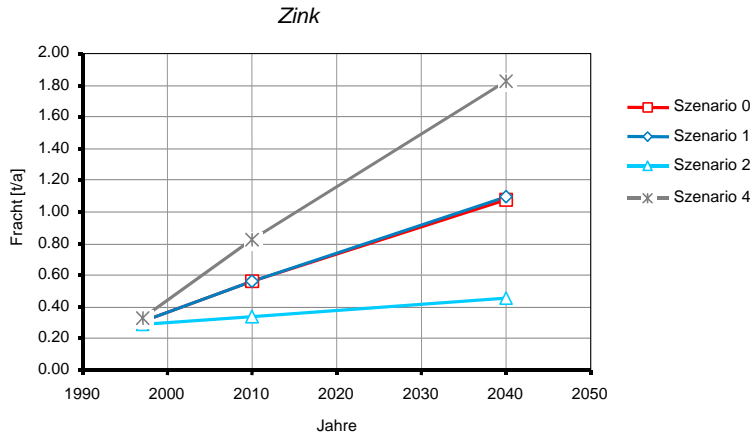


Abbildung 4-28: Totale Zink-Frachten aus allen Anwendungen zusammen für die Szenarien 0, 1, 2 und 4

**b) Szenario 3**

Im Szenario 3 kann deutlich der „Teil-Einfluss“ der Geometrie beobachtet werden. Durch das Einbringen der Materialien in Anwendungen grosser Mächtigkeit (vor allem: illegale Ablagerung in Kiesgruben) verzögert sich die Auswaschung. Sogar bei den an sich schnell auswaschenden Parametern Chlorid und DOC wird der „steady-state“ nun deutlich hinausgezögert.

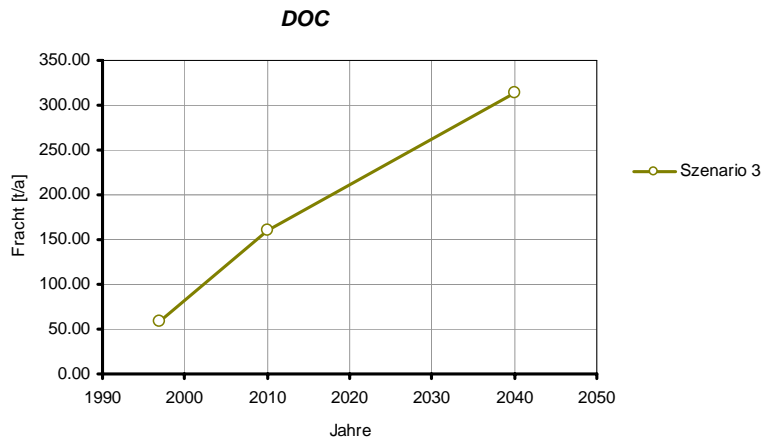


Abbildung 4-29: Totale DOC-Frachten aus allen Anwendungen zusammen für Szenario 3

**4.3.2. Überlegungen zum weiteren Verlauf der Schadstoffauswaschung aus Sekundärbaustoffen**

Die in den vorangehenden Kapiteln dargestellten Resultate gehen davon aus, dass die aus den Anwendungsprozessen in den Sekundärbaustoffkreislauf zurückgeführten Abfallstoffe noch nicht das Produkt bereits recycelter Baustoffe darstellen. Ungefähr ab dem Zeitpunkt 2040 wird sich diese Situation ändern, da dann die

**IMP**

heute eingesetzten Baustoffe wieder in den Abfallkreislauf zurückfliessen (bei der Annahme einer Erneuerung von Bauwerken nach durchschnittlich 40 Jahren).

Die in dieser Arbeit verwendeten Methoden zur Berechnung der Schadstoffauswaschung können deshalb nur bis zum Zeitpunkt 2040 als adäquat bezeichnet werden. Für den weiteren Verlauf der Schadstoffauswaschung müsste die Rückführung der nicht ausgewaschenen Schadstoffe ebenfalls berücksichtigt werden. Diese Rückführung erfolgt dabei aufgrund von zwei Unterschiedlichen Gegebenheiten:

- **Langsame Auswaschung der Schadstoffe:** insbesondere bei den Schadstoffgruppen 2 (Ammonium, Nitrit, Nitrat, Sulfat) und 3 (Chrom VI und Zink), aber auch generell im Falle von Szenario 3.
- **Rückführung aus den nicht oder wenig „auswaschungsrelevanten“ Anwendungsprozessen:** bei der Verwendung von Recyclingbaustoffen in den nicht oder wenig „auswaschungsrelevanten“ Anwendungsprozessen (Beläge, loser Einsatz mit Abdeckung, Hochbau) wird zwar eine Auswaschung verhindert, dafür bleibt aber das Schadstoffpotential erhalten. Dieses kann bei der Rückführung je nach späterem Anwendungsbereich wieder aktiviert werden.

Generell ist somit mit einem weiteren Anstieg der Schadstoffauswaschungen nach dem Zeitpunkt 2040 zu rechnen. Dabei sind vor allem die Parameter Zink und Chrom VI zu beachten, deren Auswaschungspotenzial aufgrund der langsamen Auswaschung für längere Zeit erhalten bleiben wird.

#### 4.3.3. Schadstoffimmissionen im Grundwasser

Der „globale“ Ansatz kann als Anhaltspunkt für das mittlere Ausmass der Schadstoffbelastung aus dem Sekundärbaustoff-Kreislauf betrachtet werden. Er basiert auf einer starken Verdünnungsbetrachtung über die Gesamtfläche der Schweiz (vgl. Methoden Kapitel 4.1.4).

Der lokale Ansatz stellt eine „worst-case“-Betrachtung eines Grundwassers in einem besiedelten Einzugsgebiet dar. Erwartungsgemäss sind aufgrund der Verdünnungsrechnung (vgl. Darstellungen in Kapitel 4.1.4) die Zusatzbelastungen im lokalen Ansatz grösser. Im Modell wird dabei angenommen, dass die Grundwasserneubildung nur innerhalb des Siedlungsgebietes erfolgt. Die Resultate geben einen Hinweis auf die Grössenordnung der maximalen Zusatzbelastung, welche aufgrund der Schadstoffauswaschung in ungünstigen Situationen erwartet werden kann.



**CONSULTTEST AG**

**IMP**



**CONSULTTEST AG**

Aufgrund der Resultate können die Parameter in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Die maximale Zusatzbelastung liegt deutlich über 10% (Nitrit und Nitrat) bis in die Grössenordnung des Referenzwertes (100%, Ammonium)
- Die maximale Zusatzbelastung liegt im Bereich von ca. 10% des Referenzwertes: Sulfat, DOC und Chrom VI
- Die maximale Zusatzbelastung liegt im Bereich von 1% des Referenzwertes (Chlorid) oder darunter (Zink)

Im folgenden werden diese drei Gruppen einzeln diskutiert:

#### **a) Nitrit, Nitrat, Ammonium**

Die Stickstoffparameter Nitrat, Nitrit und insbesondere Ammonium weisen im „worst-case“ (lokale Betrachtung, Zeitpunkt 2040) Werte auf, die für sich betrachtet als kritisch eingestuft werden müssten.

Nicht berücksichtigt sind dabei Umwandlungsprozesse, welche die aufgezeigten Verhältnisse stark verschieben können. Bei der Umwandlung von Ammonium und Nitrit (im aeroben Milieu) zu Nitrat wird der Vergleich mit dem Referenzwert für Ammonium und Nitrit entsprechend abnehmen. Die Zunahme beim Nitrat beim gleichen Prozess wäre dabei nur unbedeutend (der Referenzwert für Nitrat liegt 250 mal höher als diejenigen von Ammonium und Nitrit).

Zu beachten sind ausserdem die Erkenntnisse aus den vorangehenden Abschnitten, die aufzeigen, dass die resultierenden Schadstoffkonzentrationen teilweise stark durch die Frachten aus den illegalen Hinterfüllungen im Hochbau (d.h. Auswaschung aus vermischten Materialien mit einer angenommenen Schadstoffbelastung entsprechend von Bausperrgut) dominiert sind. Wie in den Abbildungen von Kapitel 4.2.2 leicht ersichtlich ist, trifft dies in starkem Mass auch auf die Parameter Ammonium und Nitrat zu.

Bei diesen beiden Parametern stammen die Schadstoffe also nicht hauptsächlich aus den eigentlichen Sekundärbaustoffen, sondern grösstenteils aus den Illegalen Hinterfüllungen. Der entsprechende Anteil am Referenzwert wäre bei der Betrachtung der Schadstofffrachten, die nur von den Sekundärbaustoffen ausgehen, um mehr als eine Grössenordnung kleiner. Weniger stark ist der Einfluss der Hinterfüllungen beim Nitrit. Die Beton-Komponenten in den Sekundärbaustoffen (Betongranulat, RC-Kies B) verursachen rund  $\frac{1}{3}$  der resultierenden Zusatzbelastungen im Grundwasser.

Insgesamt sind die Resultate für die Stickstoffkomponenten aber trotzdem als unerwartet hoch einzustufen. Bei einer ungünstigen

**IMP**

Entwicklung („Entsorgung“ grösserer Mengen von Bausperrgut in Hinterfüllungen) muss davon ausgegangen werden, dass die Nitratbelastung des Grundwassers künftig zu einem bedeutenden Anteil aus den Siedlungsgebieten stammt.

#### **b) Sulfat, DOC und Chrom VI**

Die Zusatzemissionen der Parameter Sulfat, DOC und Chrom VI machen im ungünstigsten Fall (lokale Betrachtung, Zustand 2040) einen Anteil von rund 10% des Referenzwertes aus und sind damit nicht zu vernachlässigen.

Dies trifft insbesondere im Falle von Chrom VI zu, bei dem sich wie oben schon dargelegt im Zustand 2040 noch nicht das gesamte Schadstoffpotential niederschlägt. Neben den Hinterfüllungen, die rund  $\frac{2}{3}$  der Fracht bringen, ist beim Chrom VI die Auswaschung aus dem Mischabbruchgranulat sowie aus dem Betongranulat mit zusammen rund  $\frac{1}{3}$  für die Konzentrationserhöhung verantwortlich.

Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Chrom VI verschiedenen Umwandlungsprozessen unterworfen ist. So kann Chrom VI im Sickerwasser beim Transfer durch die Bodenmatrix unter gewissen Rahmenbedingungen (Anwesenheit von organischer Substanz, Eisen II oder Sulfiden) zum relativ untoxischen Chrom III reduziert werden oder aber weiterhin beständig sein (gut durchlüftete Böden mit schwach alkalischer Reaktion).

Auch im Falle der Parameter DOC und Sulfat stammt die Hauptfracht mit einem Anteil von ca.  $\frac{2}{3}$  nicht aus den eigentlichen Sekundärbaustoffen, sondern aus den Hinterfüllungen. Entsprechend liegt der Anteil aus den Sekundärbaustoffen bei ca.  $\frac{1}{3}$ . Gemessen am Referenzwert ergibt sich daraus noch ein Anteil von ca. 3-4 %. Im Bezug auf die Referenzwerte werden die Sekundärbaustoffe im Falle der Parameter DOC und Sulfat somit kaum je eine unzulässige Belastungssituation hervorrufen.

#### **c) Chlorid und Zink**

Die Auswaschungen aus den Sekundärbaustoffen und den Hinterfüllungen führen bei den beiden Parametern Chlorid und Zink in jedem Fall nur zu unbedeutenden Konzentrationserhöhungen im Grundwasser.

Beim Chlorid, bei dem sich aufgrund seiner sehr schnellen Auswaschung das gesamte Potential in den Resultaten bereits niederschlägt, beträgt die Konzentrationserhöhung im schlechtesten Fall (lokale Betrachtung) rund 1%. Beim Zink liegt die berechnete Konzentrationserhöhung so tief (< 1 Promille), dass trotz der lang-

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

**IMP**

samen Auswaschung kaum je mit einer bedeutenden Belastung für das Grundwasser gerechnet werden muss.

#### **4.3.4. Schlussfolgerungen**

Die Resultate der durchgeführten Modellbetrachtungen zeigen, dass als Folge des Einsatzes von Sekundärbaustoffen vor allem langfristig mit einer zusätzlichen Schadstoffbelastung des Grundwassers gerechnet werden muss. Quantitativ betrachtet fallen dabei vor allem die Stickstoffparameter Nitrat (absolute Zunahme bis 4 mg/l), Nitrit und Ammonium (Zunahme bis in die Grössenordnung des Referenzwerts) aber auch Sulfat (absolute Zunahme: bis 4 mg/l) sowie der DOC und Chrom VI (Zunahme bis 10% des Referenzwerts) ins Gewicht.

Unter Berücksichtigung chemisch-physikalischer Mischungsprozesse, welche sich bei der Immission der Schadstoffe ins Grundwasser abspielen (und der Einfachheit halber im Modell nicht berücksichtigt wurden), ist aber davon auszugehen, dass die angegebenen Grössenordnungen der Schadstoffemissionen wohl eher theoretische Maximalwerte darstellen und wahrscheinlich in der Wirklichkeit nie vollumfänglich erreicht werden.

Die Modellresultate zeigen aber trotzdem deutlich auf, dass illegale Hinterfüllungen die problematischen Prozesse sind. Ohne illegale Hinterfüllungen würden die Zusatzbelastungen um einen Faktor 10 bis 100 tiefer liegen (vgl. Abb. 4-30).



**CONSULTEST AG**

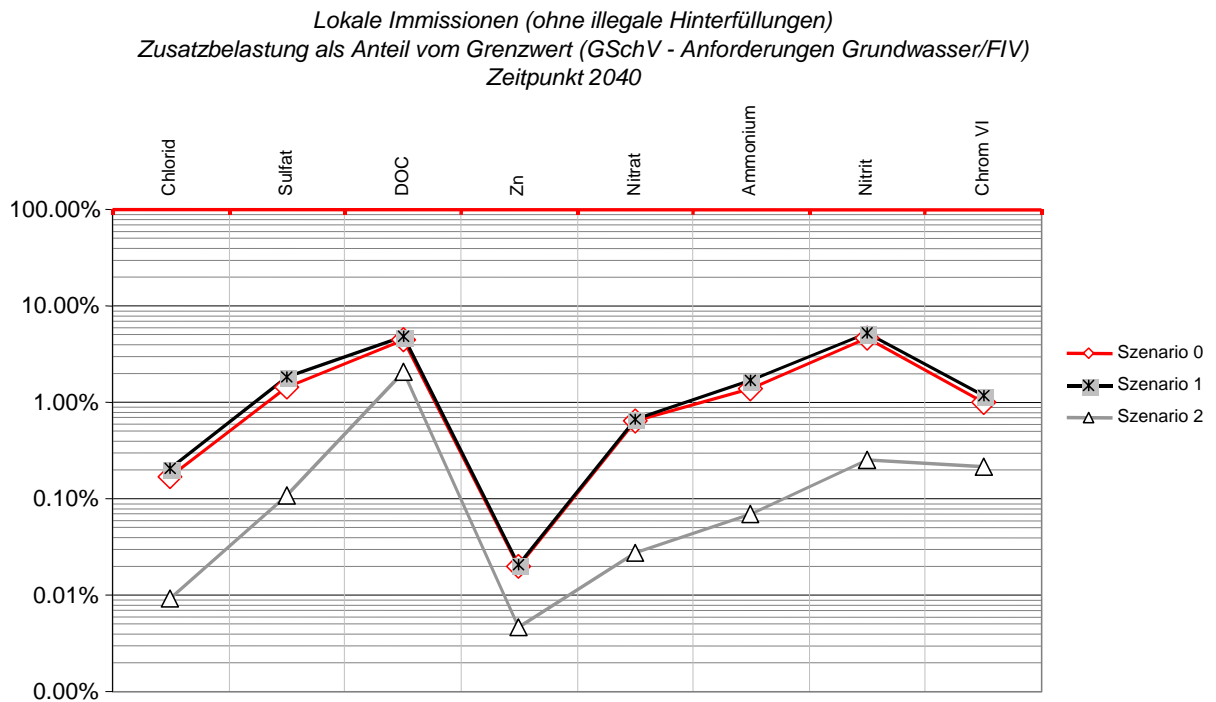


Abbildung 4-30: Konzentrationserhöhungen im Grundwasser (lokale Sichtweise) als Anteil eines Referenzwertes zum Zeitpunkt 2040 ohne illegale Hinterfüllungen

Die Modellresultate zeigen auch auf, welche Parameter bezüglich der Grundwasserbelastung als kritisch betrachtet werden müssen (Nitrat, Nitrit, Ammonium). Ebenfalls zeigen sie, dass die Art der Anwendung der Sekundärbaustoffe (loser Einsatz mit oder ohne Abdeckung, gebundener Einsatz) dagegen nur von untergeordneter Bedeutung ist.

#### 4.3.5. Empfehlungen

Im Bezug auf eine weitestgehende Vermeidung der Auswaschung von problematischen Mengen an Schadstoffen gelangen wir aus unseren Resultaten zu den in der folgenden Tabelle erläuterten Empfehlungen und möglichen Massnahmen.

Die erste Empfehlung zielt auf die möglichst vollständige Vermeidung von Hinterfüllungen (Materialien in Sperrgutqualität) auf den Baustellen. Diese stellen gemäss den Modellrechnungen den möglichen Hauptverursacher für Schadstoffauswaschungen aus der Bauwirtschaft dar.

Die zweite Empfehlung richtet sich auf den Prozess der Sortierung und Aufbereitung von Mischabbruch und von Bausperrgut. Die Abtrennung von schadstoffbelasteten Komponenten aus den wiederverwerteten Baustoffen in diesem Prozess ist eine sehr wichti



CONSULTEST AG

ge Einflussgrösse im Bezug auf das Ausmass der Schadstoffauswaschung und der möglichen Gefährdung des Grundwassers.

Die dritte Empfehlung stützt sich auf die Erkenntnis, dass der Einsatz der Baustoffe (Anwendungen loser Einsatz mit oder ohne Abdeckung, gebundener Ansatz) auf die Schadstoffauswaschung von untergeordneter Bedeutung ist.

<b>Empfehlung</b>	<b>Massnahmen</b>
Illegale Hinterfüllungen von Bauabfällen vermeiden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellen der Entsorgungsmöglichkeiten für alle Bauabfälle (z.B. Muldenkonzepte)</li> <li>• Verschärfung der Kontrollen auf der Baustelle</li> </ul>
Hohe Qualität von Mischabbruchgranulat sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderung rückbaufähiger Konstruktionen in den Anwendungsprozessen</li> <li>• Verbesserung der Triage auf der Baustelle bei Abbrüchen (kontrollierter Rückbau)</li> <li>• Qualitätskontrolle bei den Aufbereitungsprozessen für Bausperrgut</li> </ul>
Mehr Gewicht auf die Kontrolle der Qualität der Sekundärbaustoffe legen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung vermehrt kontrollieren (Qualitätssicherung bei den Aufbereitungsprozessen)</li> <li>• Allenfalls prüfen einer Lockerung der Vorschriften zu den Anwendungsbereichen von Sekundärbaustoffen [Lit. 4]</li> <li>• Vorsicht Chrom VI: Einsatz von Betongranulat im Beton fördern (Beton zu Beton)</li> </ul>

Tabelle 4-3: Empfehlungen im Bezug auf die Vermeidung problematischer Schadstoffauswaschungen aus dem System Bauwirtschaft.

**IMP**

## **5. Normenprüfverfahren für Sekundärbaustoffe (Teilprojekt 2, Consultest)**

---

### **5.1. Visuelles Auszählverfahren – Fragestellungen**

Das Resultat der visuellen Auszählung hat theoretisch verschiedene Einflussparameter. Primär steht die Frage im Zentrum, ob die Resultate der nur teilweise ausgezählte Korngrössenbereich (z.B. ab 4 mm oder ab 8 mm) repräsentativ für die gesamte Probe ist. Im weiteren sind die Probenmengen in Abhängigkeit des Aufwand - Ertragsverhältniss unklar. Es muss dabei abgeklärt werden, ob sich die Menge der Probe nach der Grössenordnung, wie sie bei Untersuchungen von Primärbaustoffen richten kann, oder ob die teilweise in der Praxis eingeführten wesentlich grösseren Probenmengen erforderlich sind.

Bei Vorhandensein von temperaturempfindlichen Asphaltgranulat kann möglicherweise die Probentemperatur und die Probenhandhabung einen Einfluss auf die Prüfergebnisse haben.

Zur Gewichtung der Prüfergebnisse und zur Festlegung von Anforderungswerten mit entsprechenden Toleranzen sind zudem Aussagen über die Prüfgenauigkeit der gewählten Methode erforderlich.

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

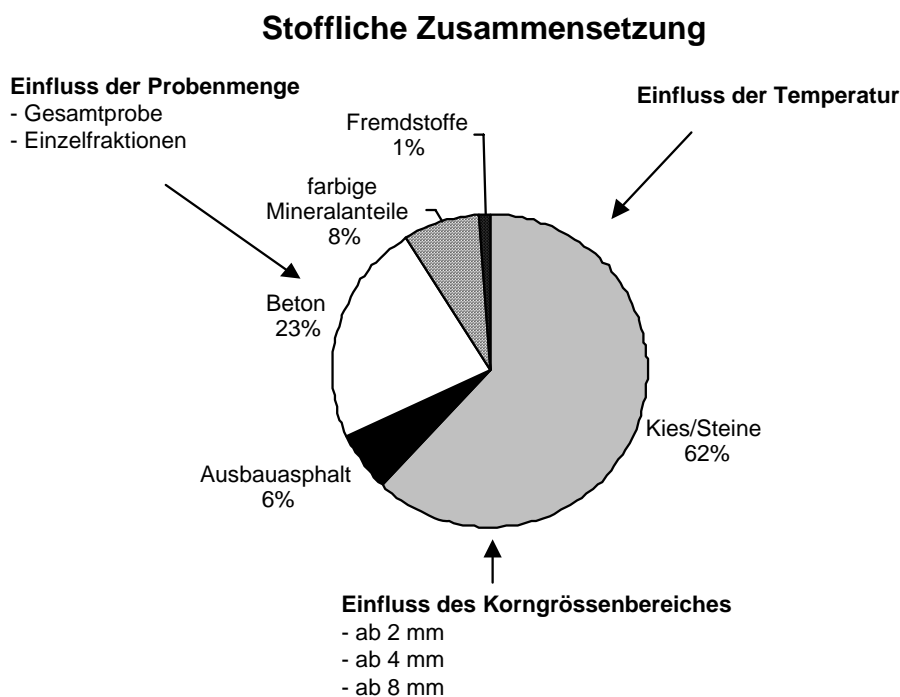


Abbildung 5-1: Einflussparameter

## 5.2. Methodische Überprüfung des visuellen Auszählverfahrens

### 5.2.1. Beurteilung des Einflusses des beprobten Korngrößenbereichs

Um der Frage nach dem Einfluss des beprobten Korngrößenbereiches abzuklären, wurden an ausgewählten Proben aus dem vorgängig definierten Probenahmeplan jeweils die stoffliche Zusammensetzung an verschiedenen Korngrößenbereichen bestimmt. Dabei wurde die bis anhin übliche Grenze bei 8 mm mit den erweiterten Bereichen bis 4 mm und bis 2 mm verglichen. In den Vergleich einbezogen wurden die einzelnen Fraktionen „Kies/Steine (Primärmaterial)“, „Asphaltgranulat“, „Betongranulat“ und „farbige Mineralanteile“.

Zur Beurteilung des Prüfaufwandes wurde der Zeitbedarf für die Auszählung der unterschiedlichen Korngrößenbereiche erfasst und gegenübergestellt.

Das Vorgehen bei der Probenahme, der Probenvorbereitung, der Auszählung (teilweise erweitert durch die Komponenten 4-8 und

**IMP**

2-4) und für die Versuchsauswertung richtet sich nach der Arbeitsanweisung (Kapitel 5.4).

### **5.2.2. Beurteilung des Einflusses der Probenmenge**

Zur Beurteilung des Einflusses der Probenmenge wurden Auszählversuche an 100%, 75 %, 50% und 25% der Menge durchgeführt.

### **5.2.3. Beurteilung des Einflusses der Temperatur bei der Probenvorbereitung**

Eine mögliche Beeinflussung der Temperatur bei der Probenvorbereitung konzentriert sich auf den Sekundärbaustoff Asphaltgranulat. Es wurden Auszählversuche an Asphaltgranulat durchgeführt, welches mit 80°C, 100°C, 120°C und 140°C im Wärmeschrank getrocknet wurde. Auch bei diesen Untersuchungen richtete sich das Vorgehen nach der Arbeitsanweisung. Insbesondere wurden vermieden, die Proben im heißen Zustand mechanisch zu beanspruchen.

### **5.2.4. Genauigkeitsbetrachtungen**

Die Abschätzung der Messunsicherheit beschränkt sich auf den Teil des Prüfverfahrens. Weitere Quellen, die zur Unsicherheit beitragen (z.B. Probennahme), wurden ausgeklammert. Abgestützt wurde die Abschätzung der Messunsicherheit auf die Wiederhol- und Vergleichspräzision.

Unter Wiederholpräzision wird die Differenz zwischen zwei erhaltenen Prüfergebnissen verstanden, die vom gleichen Prüfer mit gleichen Prüfeinrichtungen unter konstanten Prüfbedingungen an identischem Untersuchungsmaterial ermittelt wurden. Diese Differenz wird über eine lange Zeitspanne und korrekter Durchführung des Prüfverfahrens einen definierten Wert in einem von 20 Fällen überschritten.

Die Wiederholpräzision wurde aus der Standardabweichung von 5 Messwerten unter Wiederholbedingungen durch Multiplikation mit 2.77 abgeschätzt.

Unter Vergleichspräzision wird die Differenz zwischen zwei unabhängig voneinander erhaltenen Prüfergebnissen verstanden, die von verschiedenen Prüfern in verschiedenen Laboratorien an identischem Untersuchungsmaterial ermittelt wurden. Diese Differenz wird über eine lange Zeitspanne und korrekter Durchführung des Prüfverfahrens einen definierten Wert in einem von 20 Fällen überschritten.

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

**IMP**

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

Die Vergleichspräzision wurde aus der Standardabweichung von Messwerten unter Vergleichsbedingungen durch Multiplikation mit 2.77 abgeschätzt. Die Vergleichsbedingungen wurden durch einen Ringversuch mit fünf Laboratorien und an zwei Untersuchungsmaterialien (Probe A und Probe B) gewährleistet.

Die theoretische Vorgabe eines identischen Untersuchungsmaterials ist bei der vorliegenden Ausgangslage betreffend der Probenbeschaffenheit in der Praxis nicht umsetzbar. Um dennoch möglichst nahe an diese Theorie heranzukommen, wurde neben der Probe A als praxisbezogene „Baustellenprobe“ eine definierte Probe B, welche im Labor künstlich aus den verschiedenen Stoffgruppen zusammengemischt wurde, untersucht.

## **5.3. Ergebnisse und Beurteilung**

### **5.3.1. Einfluss des Korngrößenbereich**

Als Hauptaussage resultiert die Erkenntnis, dass die Resultate nicht massgebend vom gewählten Korngrößenbereich beeinflusst werden. Konkret ergaben sich keine relevanten Unterschiede zwischen den

- Analysenprobe Korngrößenbereich > 2 mm
- Analysenprobe Korngrößenbereich > 4 mm
- Analysenprobe Korngrößenbereich > 8 mm.

Dies bedeutet auch, dass auf die sehr aufwendige Auszählung der Fraktionen 2-4 und 4-8 ohne Einbusse der Aussagekraft der Resultate verzichtet werden kann.

Zeitaufwand im relativen Vergleich der Korngrößenbereiche:

- Fraktion 2 - 4 mm	:	65 %
- Fraktion 4 - 8 mm	:	30 %
- Fraktion > 8 mm	:	5 %

Zeitaufwand in absoluten Zahlen mit Vergleich der Korngrößenbereiche (Abbildung 5-2):



CONSULTEST AG

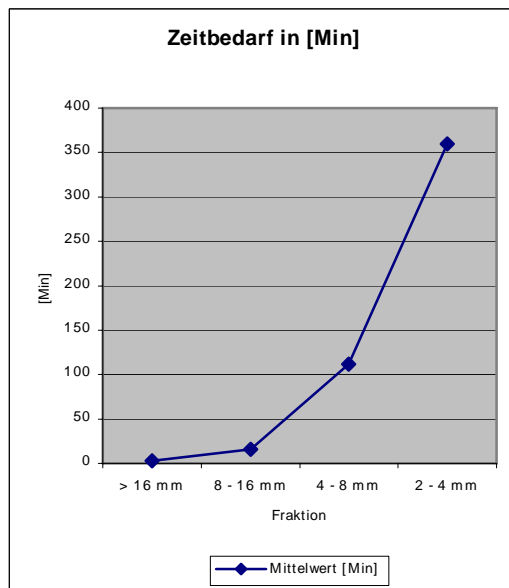


Abbildung 5-2: Zeitaufwand in absoluten Zahlen mit Vergleich der Korngrößenbereiche

Alle Einzelresultate sind in Anhang 4 dargestellt.

### 5.3.2. Einfluss der Probenmenge

Trotz einer extremen Reduktion der Probenmengen bis auf 25 % der Analysenprobe wurden erstaunlich geringe Auswirkungen auf die Prüfergebnisse festgestellt.

Beispiel Fraktion Kies/Steine (Abbildung 5-3):

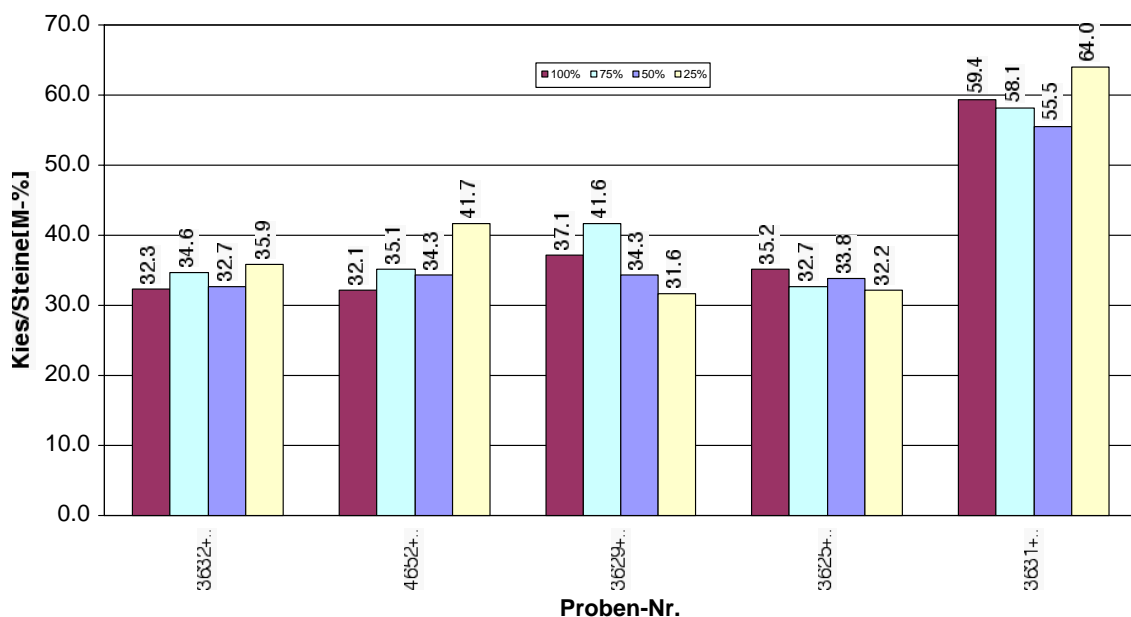


Abbildung 5-3: Fraktion Kies/Steine

**IMP**

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

Bei den kleinen Probenmengen resultierte im relativen Vergleich die Tendenz, dass die Streuungen der Messresultate zunahmen. Das Ausnützen dieser Extreme ist jedoch auch aufgrund des un wesentlich kleineren Aufwandes nicht sinnvoll.

Als wesentliche Aussage resultiert die Kenntnis, dass sich die Größenordnung der Proben für die Auszählung an der Probenmenge für die Korngrößenverteilung orientieren kann. Die wesentlich grösseren Mengen, welche zur Zeit teilweise in der Praxis aufgrund der BUWAL-Richtlinie 97 angewendet werden sind aus prüftechnischer Sicht nicht zwingend.

### 5.3.3. Einfluss der Temperatur

Auch die Temperatur bei der Probenvorbereitung zeigt keine massgebende Auswirkungen auf die Resultate, insbesondere auf den Anteil Asphaltgranulat.

Dies bedeutet, dass auch mit höheren Temperaturen als den bisher üblichen 80 °C die Probenvorbereitung durchgeführt werden kann. Die Probenhandhabung mit der Vermeidung der mechanischen Beanspruchung im heissen Zustand wird dabei vorausgesetzt (s. Arbeitsanweisung).

### 5.3.4. Genauigkeitsangaben

#### Vergleichspräzision

Auffallend sind die relativ grossen Unterschiede in der Streuung der Messresultate zwischen der „Baustellenprobe“ Probe A, und der im Labor zusammengesetzten Probe B.

Die festgestellte Streuung ist – mit Ausnahme von sehr kleinen Messgrössen - weitgehend unabhängig von der Grösse des Absolutwertes, so dass die Genauigkeitsangaben in den Einheiten des massgebenden Wertes angegeben werden können. Von dieser Aussage sind jedoch die Fremdstoffanteile aufgrund der sehr tiefen Absolutwerte und der Grösse der massgebenden Anforderungen auszuklammen.

Abschätzung Vergleichspräzision:

$$VP = s * 2.77 = 3.0 * 2.77 = \pm 8 \text{ [M-\%]}$$

Dies gilt für die Stoffgruppen Asphaltgranulat, Betongranulat, Kies/Steine, und farbige Mineralanteile.

**IMP**

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

Für die Fremdstoffe liegt die Vergleichspräzision tiefer :

$$\mathbf{WP} = s * 2.77 = 0.1 * 2.77 = \pm \mathbf{0.3} \text{ [M-\%]}$$

Die eingesetzte Standardabweichung entspricht einem Mittel der zwei Proben mit Ausschluss eines Ausreissers bei Probe A (Betongranulat) und ohne Berücksichtigung der Stoffgruppen „Asphaltgranulat“ und „Fremdstoffe“ mit sehr kleinen Anteilen.

### **Wiederholpräzision**

Bei Wiederholbedingungen wird der heikle Punkt der prüferabhängigen unterschiedlichen Beurteilung der Zuordnung aufgrund der visuellen Kriterien eliminiert. Dies bewirkt eine deutliche Reduktion der Streuung der Resultate gegenüber der Vergleichspräzision. Die festgestellte Streuung ist weitgehend unabhängig von der Grösse des Absolutwertes, so dass die Genauigkeitsangaben in den Einheiten des massgebenden Wertes angegeben werden können. Von dieser Aussage sind jedoch die Fremdstoffanteile aufgrund der sehr tiefen Absolutwerte und der Grösse der massgebenden Anforderungen auszuklammen.

Abschätzung Wiederholpräzision:

$$\mathbf{WP} = s * 2.77 = 1.13 * 2.77 = \pm \mathbf{3} \text{ [M-\%]}$$

Dies gilt für die Stoffgruppen Asphaltgranulat, Betongranulat, Kies/Steine, und farbige Mineralanteile.

Für die Fremdstoffe liegt die Wiederholpräzision tiefer:

$$\mathbf{WP} = s * 2.77 = 0.1 * 2.77 = \pm \mathbf{0.3} \text{ [M-\%]}$$

Dies unterstreicht die Wichtigkeit der klaren Definition der einzelnen Fraktionen aufgrund visueller Gesichtspunkte. Daraus wird auch die Notwendigkeit einer klaren Regelung der Zuordnung aufgrund visueller Gesichtspunkte im Rahmen der Arbeitsanweisung dokumentiert.

## **5.4. Arbeitsanweisung**

Abgestützt auf die vorliegenden Resultate, wurde die Arbeitsanweisung für die Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung von Sekundärbaustoffen durch das visuelle Auszählverfahren er-

**IMP**

stellt.

Die Form mit den Kapiteln

- A) Allgemeines
- B) Versuchsdurchführung
- C) Versuchsauswertung
- D) Genauigkeitsangaben
- E) Literaturverzeichnis

orientiert sich dabei nach den Vorgaben des Normenaufbaus der VSS.

Die Arbeitsanweisung ist in Anhang 4.6 dargestellt.

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

## 6. Korrelation visuelle Beurteilung / Auswaschversuche (Teilprojekt 3b, IMP/Consultest)

---

### 6.1. Vergleich der beiden Prüfverfahren

Zur Beurteilung von Sekundärbaustoffen stützen sich sowohl die Normen der VSS als auch die Richtlinien des BUWAL auf das in Kapitel 5 vorgestellte und verbesserte Verfahren „Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung; visuelles Auszählverfahren.“

Diese Prüfmethode wurde zur raschen Klassifizierung von Sekundärbaustoffen gewählt, da sie kostengünstig ist und von Baustofflabors ohne zusätzliche Geräteanschaffungen problemlos durchgeführt werden kann. In Bezug auf die Beurteilung des Schadstoffpotentials eines Sekundärbaustoffes weist diese Methode allerdings markante Nachteile auf.

Schadstoffe sind grundsätzlich visuell nicht erfassbar, die Methode gibt keine direkten Hinweise über die Schadstoffbelastung eines Sekundärbaustoffes.

Bei der Prüfmethode werden nur die Anteile > 8 mm untersucht. Erfahrungsgemäss weist ein Sekundärbaustoff eine kontinuierliche Korngrößenverteilung auf; der Siebdurchgang bei 8 mm liegt in der Größenordnung von 50 %. Dies bedeutet, dass etwa die Hälfte der Probe gar nicht untersucht wird.

Die von einem Sekundärbaustoff ausgehende Umweltgefährdung ist die Kombination des Gesamtschadstoffpotentials mit dem Freisetzungsverhalten eines Schadstoffes. Die unmittelbare Gefährdung wird durch das Freisetzungsverhalten geprägt. Die durchgeführten Auswaschversuche gemäss Altlastenverordnung geben Hinweise auf das Freisetzungsverhalten. Die Auswaschbarkeit von Schadstoffen ist direkt von der spezifischen Oberfläche der Probe abhängig. Aus einer feingemahlten Probe lassen sich bekanntlich mehr Stoffe auswaschen als aus einer gröberen Probe. In der untenstehenden Abbildung 6.1 wurde die Summenkurve der spezifischen Oberfläche einer Probe in Abhängigkeit des Korndurchmessers aufgezeichnet. Die spezifische Oberfläche wurde mit der Annahme einer kugeligen Form der einzelnen Körner berechnet. Daraus wird ersichtlich, dass das Auszählverfahren nur ca. 2 % der spezifischen Oberfläche erfasst; 98 % der Oberfläche werden vernachlässigt!

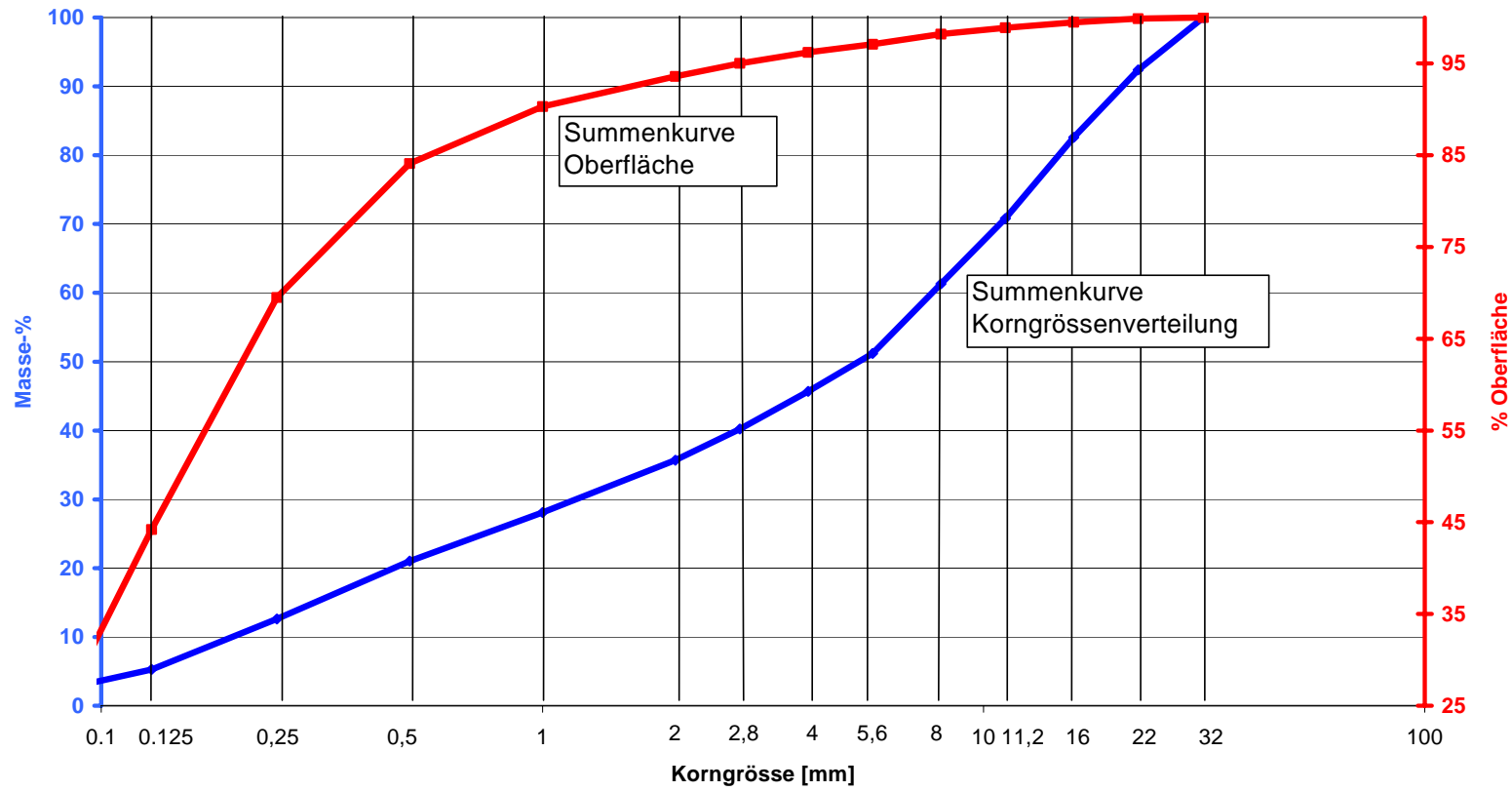


Abbildung 6-1: Summenkurve der spezifischen Oberfläche einer Probe in Abhängigkeit des Korndurchmessers im Vergleich zur Summenkurve der Korngrößenverteilung

Der in diesem Bericht angewandte Säulenversuch kann nur an Proben mit einem Grösstkorn von max. 22 mm durchgeführt werden. Grössere Körner müssen entfernt werden. Bei einem Sekundärbaustoff 0/32 (z.B. Mischabbruchgranulat) beträgt der Anteil > 22 mm in der Regel ca. 10 Masse-%. Dieser Masse-Anteil entspricht einem Anteil an der spezifischen Oberfläche von ca. 0.2 %. In der Abbildung 6.2 werden die beiden Prüfverfahren in Bezug auf deren Erfassung der Oberfläche gegenüber gestellt.

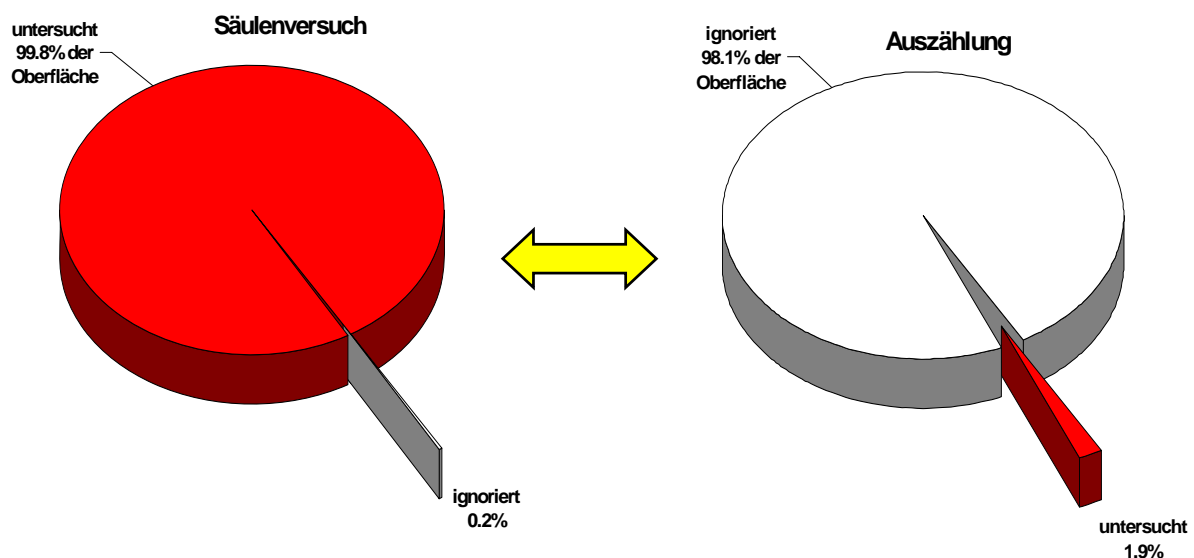


Abbildung 6-2: Gegenüberstellung des Säulenversuches und der visuellen Beurteilung durch Auszählen

Es wäre wünschenswert, man könnte von der raschen und kostengünstigen Methode der Auszählung auf die aussagekräftige Beurteilung der auswaschbaren Anteile schliessen. In den folgenden Abschnitten werden Korrelationen zwischen den beiden Prüfverfahren gesucht.

Die nachfolgende Korrelation der einzelnen Analysenresultate mit den Auszählversuchen bilden die Basis dieses Kapitels.

Wie schon im Kapitel 2 zuvor vermerkt, schwanken die Untersuchungsergebnisse der Gesamtgehaltsbestimmungen in einer Untersuchungsgruppe relativ stark. Dennoch wird im folgenden versucht die jeweiligen Analyseparameter mit den verschiedenen Komponentenanteilen im jeweiligen Produkt (Sekundärbaustoff) in Korrelation zu bringen.

## 6.2. Kohlenwasserstoffe gesamt

### Gesamtgehalt

Die Kohlenwasserstoffgehalte (KW-Gesamtgehalte) in den 14 untersuchten Mischabbruchgranulaten (MAG) sind abhängig vom Asphaltgranulat-Anteil des jeweiligen Mischabbruchgranulates. Bei Anteilen von etwa 2-3% Asphaltgranulat ergeben sich KW-Gesamtgehalte von  $100 \pm 50$  mg/kg.

Die Untersuchungen an den Produkten Betongranulat (BG), Recycling-Kiessand P (KSP) und Recycling-Kiessand B (KSB) ergaben ähnlich tiefe Werte.

Steigt der Asphaltgranulat-Anteil im untersuchten Mischabbruchgranulat (MAG) auf etwa 20%, so erhöht sich auch der Gesamtgehalt an Kohlenwasserstoffen auf  $800 \pm 20$  mg/kg.

Der Maximalwert für den Gesamtgehalt an Kohlenwasserstoffen ist mit  $2200 \pm 200$  mg/kg in einem der zwei untersuchten Asphaltgranulate (AG) zu finden, während beim Recycling-Kiessand A (KSA) etwa ein Drittel davon, ca. 800 mg/kg gefunden werden.

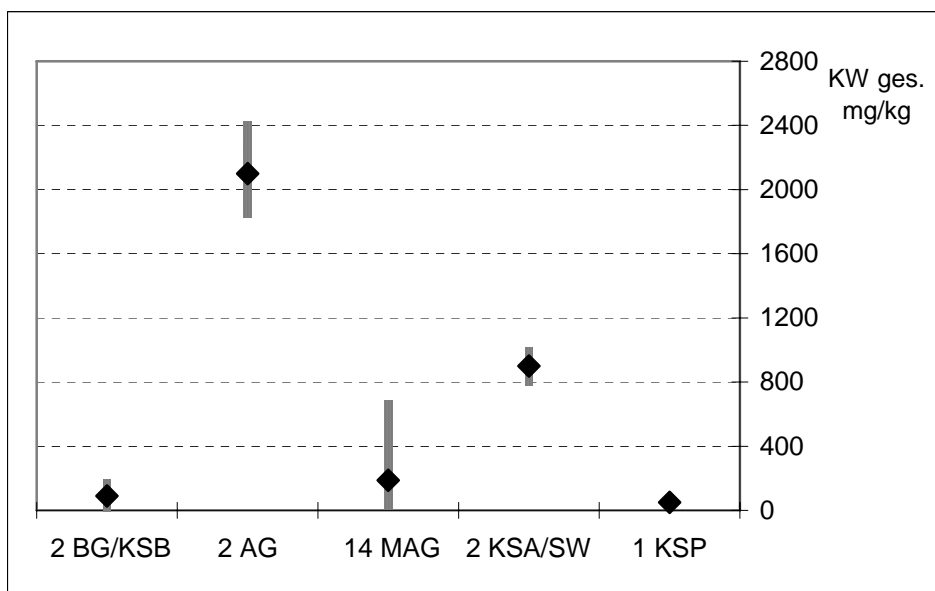


Abbildung 6-3: Gesamtgehalt Kohlenwasserstoffe der Sekundärbaustoffe

**IMP**



**CONSULTEST AG**

#### **Eluat**

Die Kohlenwasserstoffgehalte der untersuchten Eluate sind über beinahe alle Sekundärbaustoffe mit Werten von  $<0.1$  mg/l vernachlässigbar klein: Es kann somit keine Korrelation aufgefunden werden.

### **6.3. AOX (Adsorbierbare org. Halogenverbindungen)**

#### **Gesamtgehalt**

Die adsorbierbaren organischen Halogenverbindungen liegen mit Werten von etwa  $40 \pm 30$  mg/kg für alle untersuchten Produkte etwa im selben Bereich.

#### **Eluat**

Auch die ermittelten AOX-Gehalte im entsprechenden Eluat des jeweiligen Sekundärbaustoffes sind für alle Produkte mit Werten von  $<0.07$  mg/l allgemein sehr klein.

⇒ Durch diesen Befund ist eine spezifische Korrelation AOX-Gehalt – spez. Sekundärbaustoff kaum möglich.

### **6.4. Sulfat**

#### **Gesamtgehalt**

In den 14 untersuchten Mischabbruchgranulaten sind die Sulfatgehalte in einem weiten Bereich von 100 bis 8400 mg/kg zu finden. Erhöhte Sulfatgehalte ( $> 1500$  mg/kg) sind meist mit Gipsanteilen (Mischabbruchgranulaten) resp. Gipsanteilen im Fremdstoffanteil (andere Recyclingbaustoffe) zu korrelieren.

**IMP**



**CONSULTTEST AG**

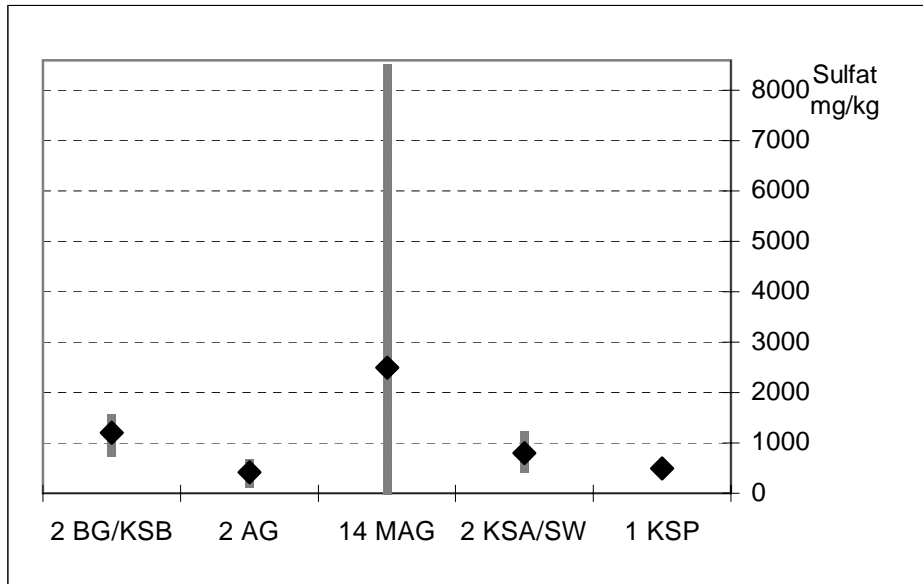


Abbildung 6-4: Gesamtgehalt Sulfat der Sekundärbaustoffe

### Eluat

Sulfate aus Gipsanteilen werden auch in Eluaten nachgewiesen. Im Beton gebundene Sulfate werden kaum resp. überhaupt nicht ausgewaschen.

⇒ Gipsanteile sind oft in kleineren Anteilen im Mischabbruchgranulat zu finden. Somit sind erhöhte Sulfatgehalte meistens mit Mischabbruchgranulat zu korrelieren.

## 6.5. Chrom gesamt

### Gesamtgehalt

Die Chromwerte liegen mit Werten von etwa  $30 \pm 20$  mg/kg für alle untersuchten Produkte etwa im selben Bereich. Einzig zwei der 14 untersuchten Mischbruchgranulate haben erhöhte Chromwerte (120 resp. 170 mg/kg).

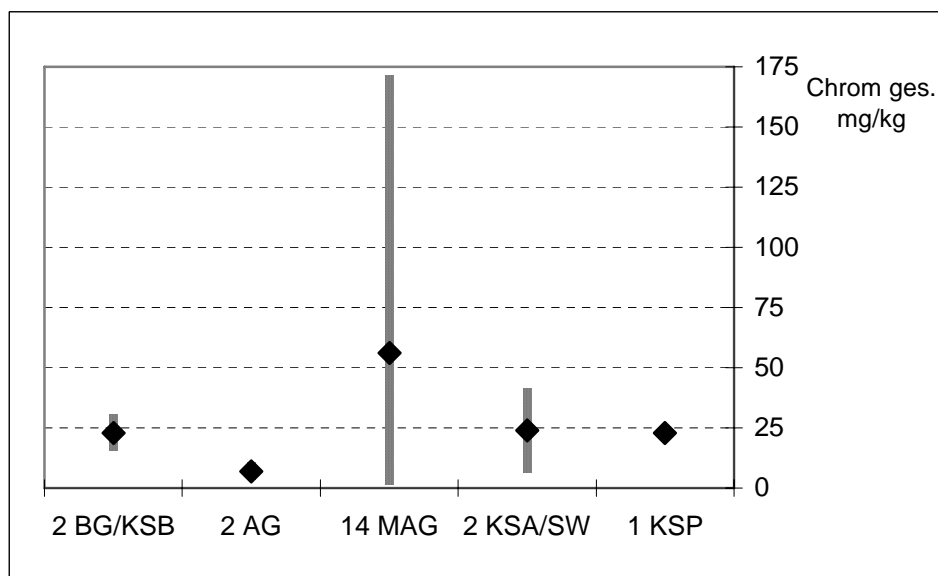


Abbildung 6-5: Gesamtgehalt Chrom gesamt der Sekundärbaustoffe

## 6.6. Chlorid / Zink / Aluminium

### Gesamtgehalt

Die Gesamtgehalte dieser Parameter (Chlorid, Zink, Aluminium) sind über alle Produkte je etwa gleich gross – unter Berücksichtigung der relativen Standardabweichung. Bei einem untersuchten Mischabbruchgranulat konnte jedoch beim Zink ein 10-fach höherer Wert (verglichen mit dem Mittelwert) festgestellt werden.

⇒ Es sind keine Korrelationen feststellbar.

### Aluminium im Eluat

Durch die Basizität von Betonprodukten ist die Aluminiumkonzentration, entsprechend dem Betongehalt des jeweiligen Produktes, im Eluat erhöht. Sie liegt im Bereich von  $1 \pm 0.5$  mg/l für beton-

**IMP**

haltige Produkte.

Zudem ist eine eventuelle Abhängigkeit der Oberflächengrösse des Betonanteils resp. der Kornverteilung des Betongranulates zu beachten.

Erhöhte Aluminiumgehalte im Eluat sind mit Betonanteilen im entsprechenden Sekundärbaustoff zu korrelieren.



## 6.7. Schlussfolgerungen

Wie schon eingangs erwähnt, sind Schadstoffe grundsätzlich nicht visuell erfassbar und somit sind auch keine direkten, allgemeingültigen Hinweise über die Schadstoffbelastung eines Sekundärbaustoffes durch ein Auszählverfahren möglich. Schadstoffe haften zudem erfahrungsgemäss eher an Feinanteilen eines entsprechenden Sekundärbaustoffes. Bis auf einige offensichtliche Zusammenhänge (KW gesamt und Sulfatgehalte) konnten keine Korrelationen zwischen der visuellen Beurteilung und den Auswaschversuchen abgeleitet werden.

**CONSULTEST AG**

**IMP**

## Literatur

---



**CONSULTEST AG**

- [1] Bauabfälle Schweiz – Mengen, Perspektiven und Entsorgungswege, Band 1: Kennwerte, Umwelt-Materialien Nr. 131, BUWAL 2001.
- [2] Bauabfälle Schweiz – Mengen, Perspektiven und Entsorgungswege, Band 2: Kantonale Werte, Umwelt-Materialien Nr. 132, BUWAL 2001.
- [3] Kies- und Energiehaushalt urbaner Regionen in Abhängigkeit der Siedlungsentwicklung, M. Redle, Dissertation ETH Zürich Nr. 13108, 1999.
- [4] Richtlinie für die Verwertung mineralischer Baustoffe, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Juli 1997.
- [5] Ressourcen im Bau, Th. Lichtensteiger (Hrsg.), vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1998
- [6] Abfall-Leitbild Kanton Bern, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft (GSA), Neufassung März 1997.
- [7] Diplomarbeit „Betonrecycling“ Stoffliche Auswirkungen von Alternativstoffen in der Zement- und Betonproduktion auf die Zusammensetzung eines mehrfach rückgebauten Betons. Patrick Graf und Rémy Schleiniger, Abteilung Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik, EAWAG Dübendorf (1997).
- [8] Regionaler Stoffhaushalt: Erfassung, Bewertung, Steuerung, P. Baccini und H.-P. Bader, Spektrum Akademischer Verlag, 1996.
- [9] Kantonale Abfallplanung: Perspektive Bauabfälle, Teilbericht Hochbau; Wüest + Partner, Rauminformation, Zürich, Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, 1995.
- [10] Kantonale Abfallplanung: Ermittlung von Bauabfallmengen, Teilbericht Tiefbau; Wüest + Partner, Rauminformation, Zürich, Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, 1995.
- [11] Richtlinie für Sekundärbaustoffe / Waschversuche mit Mischabbruch, SIEBER CASSINA + PARTNER AG, Arbeitsgruppe RISBA, Kanton Bern, Direktion für Bau, Verkehr und Energie, Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft, 1995.

**IMP**



**CONSULTEST AG**

- [12] DILUTE 2000; Programm zur Abschätzung des Eintrags von Schadstoffen aus einer Materialablagerung in das Grundwasser sowie zur Berechnung von Schadstoffkonzentrationen im aus einem Brunnen geförderten Wasser, der sich im Perimeter der Materialablagerung befindet; J.-P. Benkert, Sieber Cassina + Partner AG, 1995.
- [13] Abfallplanung Kanton Freiburg, Kanton Freiburg, Baudirektion, 1994.
- [14] Baustoffe im optimierten Güterkreislauf: Entwicklung von Untersuchungsverfahren zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit, AGW, Bericht Nr. 5, Mai 1993.
- [15] Baudepartement Kt. Aargau, Perspektive Bauabfälle, Teilbericht Tiefbau, Kt. AG 1994.
- [16] Abbruch-, Aushub und Recyclingverbandes (ARV); Richtlinien für die Gütesicherung von Recyclingbaustoffen, Ausgabe 19.3.98.
- [17] Stoffflussanalyse der Bauabfallsortieranlage BASORAG, Amt f. Umweltschutz und Energie Kt. BS, SC+P 1991.
- [18] Long-term behavior of municipal solid waste landfills, Waste Management & Research 7, 43-56, H. Belevi, P. Baccini, 1989.
- [19] Stoffflussanalyse einer Sortieranlage für Bausperrgut, ETH/EAWAG, Brunner/Stämpfli; 1989.
- [20] Bauliche Ressourcen und ihre Benützung, Lagebeurteilung und mögliche Veränderungspotentiale, ETH Forschungsbericht MANTO, Zwischenbericht 2, Spezialstudie 2.23, ETH Zürich, Wüest H. und Gabathuler C.V., 1984.
- [21] Baudepartement Kt. Aargau, Perspektive Bauabfälle, Teilbericht Hochbau.
- [22] SIMBOX, Stoffflussanalyse-Software; H.-P. Bader, R. Scheidegger; EAWAG Dübendorf.
- [23] Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10. Dezember 1990 (Stand am 1. Juli 1994), SR 814.015.
- [24] Bau-, Verkehrs und Energiedirektion des Kantons Bern; Richtlinien für die umweltkonforme Verwendung von Sekundärbaustoffen; 1996.
- [25] BUWAL; Richtlinie für der Verwertung mineralischer Bauabfälle; 1997.
- [26] Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn; Richtlinien für die Verwendung von Sekundärbaustoffen im Hoch- und Tiefbau; 1995.

**IMP**



**CONSULTEST AG**

- [27] Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn; Bericht Nr. 15, Umweltrelevante Aspekte von Sekundärbaustoffen und industriellen Nebenprodukten im Hoch- und Tiefbau, Kommentar zu den Richtlinien; 1994.
- [28] Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich; Wegleitung für Klassierung von Bauabfällen; September 1994.
- [29] Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich; Richtlinien für die umweltkonforme Anwendung von Sekundärbaustoffen im Oberbau und in Planumsverstärkungen von Strassen, Wegen und Plätzen; 1993.
- [30] Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich; Bericht Nr. 5, Entwicklung von Untersuchungsverfahren zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit; 1993.
- [31] Österreichischer Güteschutzverband Recycling-Baustoffe; Richtlinie für Recycling-Baustoffe; Juli 1993.
- [32] Tiefbauamt des Kantons Zürich; Nr. 4.2.9, Versuchsstrasse für Fundationsschichten aus Recyclingmaterial; 1993.
- [33] Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich; Bericht Nr. 2, Auswaschversuch mit aufbereitetem Bauschutt; 1990.
- [34] Plattform für nachhaltiges Bauen, Arbeitsgruppe strategische Grundlagen; Baustoffmanagement 21, Strategie für die Realisierung eines nachhaltigen Bauwerkes Schweiz; Stand 30.4.02.
- [35] Urs von Gunten; Grundwasser: Vom Trinkwasser-Reservoir zum Gewässer; EAWAG News Nr 49, 1999.

**IMP**

## **Aktuelle VSS-Normen bezüglich Sekundärbaustoffe**

---

- 640 740 Recycling von Bauschutt, Verwertung von Bauschutt, Allgemeines, Allgemeine Umschreibung der Begriffe; Entscheidungsmatrix für die Verwertung der Bauschuttfraktionen; stoffliche Zusammensetzung der Sekundärbaustoffe; Gewässerschutzbedingte Einschränkungen, Mai 1993.
- 640 741 Recycling von Bauschutt; Verwertung von Ausbauasphalt, Mai 1993.
- 640 742 Recycling von Bauschutt; Verwertung von Strassenabbruch, Mai 1993.
- 640 743 Recycling von Bauschutt; Verwertung von Betonabbruch, November 1993.
- 640 744 Recycling von Bauschutt, Verwertung von Mischabbruch, April 1994.
- 640 746 Recycling von Bauschutt; Verwertung von Altglas im Strassenbau, Nebenprodukten und Glas, April 1994.



**CONSULTEST AG**

**IMP**

## Glossar

---

<b>AOX</b>	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
<b>Asphaltgranulat</b>	Der auf eine Stückgrösse von max. 32 mm zerkleinerte Ausbausphalt.
<b>Aufbereitung</b>	Die Aufbereitung von Bauabfällen ist eine Behandlung und umfasst Tätigkeiten wie Sortieren, Brechen und Klassifizieren. Dies mit dem Ziel, Recyclingbaustoffe herzustellen, welche den ökologischen wie auch die bautechnischen Anforderungen erfüllen. Dabei sind nicht verwertbare Anteile auszuscheiden, um diese einer vorschriftsgemässen Ablagerung oder Behandlung zuführen zu können.
<b>Ausbauasphalt</b>	Oberbegriff für den durch schichtweise Kaltfräsen eines Asphaltbelages gewonnenen, kleinstückigen Fräsasphalt und den beim Ausbrechen bituminöser Schichten in Schollen anfallenden Ausbruchsasphalt.
<b>Bauabfälle</b>	Alle Abfälle, die bei Bautätigkeiten anfallen.
<b>Bausperrgut</b>	Als Bausperrgut werden die vermischten Bauabfälle aus sperrigen Stoffen wie Holz, Metall und Kunststoffen bezeichnet (geringer mineralischer Anteil). Bausperrgut muss in Sortieranlagen oder auf der Baustelle in die einzelnen Komponenten aufgeteilt werden.
<b>Betonabbruch</b>	Das durch Abbrechen oder Fräsen von bewehrten oder unbewehrten Betonkonstruktionen und –belägen gewonnene Material.
<b>Betongranulat</b>	Durch Aufbereiten von Betonabbruch hergestellter Recyclingbaustoff.
<b>DILUTE</b>	Programm zur Abschätzung des Eintrags von Schadstoffen aus einer Materialablagerung in das Grundwasser sowie zur Berechnung von Schadstoff-Konzentrationen im aus einem Brunnen geförderten Wasser, der sich im Perimeter der Materialablagerung befindet.
<b>DOC</b>	Gelöster organischer Kohlenstoff
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency (US Um-

**S C + P**

**CONSULTEST AG**

**IMP**



**CONSULTEST AG**

	weltbehörde)
<b>Glühverlust</b>	Der Glühverlust ist der Anteil des Trockenrückstandes, der beim Glühen bei 650°C verloren geht. Dieser Anteil der Trockensubstanz wird gelegentlich als organischer Anteil bezeichnet, weil v.a. die organischen Anteile zersetzt werden und abdestillieren.
<b>KW</b>	Kohlenwasserstoffe
<b>Mineralische Bauabfälle</b>	Ein Teil der Bauabfälle, die ohne weitere Behandlung auf Inertstoffdeponien abgelagert werden dürfen (TVA Art. 9). In der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle (BUWAL) werden Ausbauasphalt, Strassenabbruch, Betonabbruch und Mischabbruch unterschieden. In der SN 620 740 wird dieser Begriff auch als Bauschutt und die Unterbegriffe als Bauschuttfraktion bezeichnet.
<b>Mischabbruch</b>	Ein Gemisch von mineralischen Bauabfällen von ausschliesslich Massivbauteilen wie Beton, Backstein-, Kalksandstein- und Natursteinwerk.
<b>Mischabbruchgranulat</b>	Der durch Aufbereiten des Mischabbruchs hergestellte Recyclingbaustoff.
<b>PAK</b>	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
<b>Prozess</b>	Transport, Transformation, Lagerung und Wertveränderung von Stoffen und Gütern (bsw. umfasst der Recycling-Prozess <i>Sortierung und Aufbereitung</i> die Aufbereitung von Mischabbruch der durch die Triage auf der Baustelle entstanden ist zum Sekundärbaustoff Mischabbruchgranulat). Die Prozesse im System werden bilanziert
<b>Purge and Trap</b>	Flüchtige organische Verbindungen
<b>Recyclingbaustoffe</b>	Die aus Bauabfällen hergestellten und zu Bauzwecken eingesetzten Materialien, welche die ökologischen und bautechnischen Anforderungen erfüllen. Gemäss der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle (BUWAL 1997) entstehen bei der Aufbereitung der vier Bauabfallkategorien sechs mineralische Recyclingbaustoffe. Werden diese entsprechend der Richtlinie verwertet, gelten sie nicht mehr als Abfälle. In der SN

**IMP**



**CONSULTEST AG**

	620 740 wird dieser Begriff auch als Sekundärbaustoff bezeichnet.
<b>Recycling-Kiessand P, A, B</b>	Der durch das Aufbereiten von Strassenabbruch aus nicht gebundenen Foundationsschichten hergestellte Recyclingbaustoff. Im Hinblick auf die Verwertung wird zwischen drei Qualitäten unterschieden: Recycling Kiessand P, Recycling Kiessand A, Recycling Kiessand B.
<b>Rückbau</b>	Demontage- und Abbruchtechnik, die darauf ausgerichtet ist, die anfallenden Bauabfälle bereits auf der Baustelle entsorgungsgerecht zu trennen und wenn möglich einer Verwertung zuzuführen.
<b>Stoffflussanalyse</b>	Methode zur Erfassung, Beschreibung und Interpretation von Stoffwechselprozessen.
<b>Strassenabbruch</b>	Oberbegriff für das durch Ausheben, Aufbrechen oder Fräsen von nicht gebundenen Foundationsschichten und von stabilisierten Foundations- und Tragschichten gewonnene Material.
<b>TVA</b>	Technische Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990.
<b>Lager</b>	Das Lager eines Prozesses stellt den Gesamtbestand der vorhandenen Materialien innerhalb des Prozesses dar (z.B. besteht das Lager Hochbau Schweiz aus 1180 mio to Gebäudesubstanz).
<b>Lagerrate</b>	Die Lagerrate bezeichnet die jährliche Zunahme des Lagers (bsp. Lagerrate Hochbau Schweiz: 33.7 mio to/a).
<b>Stofffluss (Fluss, Massenfluss)</b>	Stoffflussanalysen werden oft auf der Ebene einzelner Stoffe (Parameter) durchgeführt. Der Stofffluss wird dabei aus dem Massenfluss eines Gutes (in der vorliegenden Studie Ressourcen, Bauabfälle oder Sekundärbaustoffe) und der Konzentration eines Stoffes (z.B. Chrom VI) in diesem Gut berechnet. Die vorliegende Stoffflussanalyse beschränkt sich auf die Erfassung und Darstellung der Massenflüsse, welche pro Zeiteinheit (bsp. mio to/a) in einen Prozess geführt werden (Inputflüsse) oder diesen Verlassen (Outputflüsse).