

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Bauabfälle in der Schweiz - Tiefbau Aktualisierung 2015

Schlussbericht

Mai 2016

Energie- und Ressourcen-Management GmbH



Herausgeber	Bundesamt für Umwelt BAFU 3003 Bern
Kontaktperson	Dr. David Hiltbrunner
Bearbeitung	Energie- und Ressourcen-Management GmbH Wolleraustrasse 15g 8807 Freienbach Tel. +41 44 371 40 90 Fax +41 44 371 40 04 info@energie-ressourcen.ch www.energie-ressourcen.ch
Projektleitung	Dr. Stefan Rubli
Bearbeitung	Dr. Stefan Rubli
Zeitraum	Juni 2015 – Mai 2016

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Ausgangslage und Zielsetzung	5
1.1	<i>Ausgangslage</i>	5
1.2	<i>Ziele</i>	5
2	Methoden	6
2.1	<i>Grundlagen zum Tiefbaubestand und zu den Bauabfallflüssen</i>	6
2.2	<i>Modellaufbau</i>	6
2.3	<i>Datengrundlagen</i>	7
3	Resultate	8
3.1	<i>Länge der Infrastrukturbauten und Materiallager pro Einwohner</i>	8
3.2	<i>Materiallager und Zusammensetzung der Infrastrukturbauten</i>	15
3.3	<i>Bauabfälle durch Erneuerung</i>	19
4	Perspektive der Bauabfälle Tiefbau	22
4.1	<i>Entwicklung der Baumateriallager</i>	22
4.2	<i>Entwicklung der Bauabfallmengen nach Materialgruppen</i>	23
5	Literatur	25
6	Anhang	26
6.1	<i>Datengrundlagen zu Modellrechnung der Materiallager und Bauabfälle</i>	27
6.2	<i>Zuordnung Materialien und Materialgruppen</i>	29
6.3	<i>Kantonale Daten</i>	30

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:Grobstruktur des Modells	7
Abbildung 2: Strasseninfrastruktur nach Kantonen	9
Abbildung 3: Schieneninfrastruktur nach Kantonen	11
Abbildung 4: Infrastrukturnetze nach Kantonen	12
Abbildung 5: Materiallager im Tiefbaubereich nach Infrastrukturwerken	16
Abbildung 6: Materiallager im Tiefbaubereich nach Materialgruppen.....	16
Abbildung 7: Materiallager in den Kantonen	17
Abbildung 8: Bauabfallmengen im Tiefbaubereich nach Infrastrukturwerken	21
Abbildung 9: Bauabfallmengen im Tiefbaubereich nach Materialgruppen.....	21
Abbildung 10: Abgeschätzte Entwicklung der Materiallager in den Strassen	23
Abbildung 11: Entwicklung der Bauabfallmengen	24
Abbildung 12: Grundlagen zur Modellrechnung des Materiallagers in Strassen	27

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Das Bundesamt für Umwelt BAFU hat im Jahr 2001 die Studie „Bauabfälle Schweiz - Mengen, Perspektiven und Entsorgungswege“ publiziert. Die Resultate erschienen in den zwei Reihen UMWELTMATERIALIEN NR. 131 und 132. Die Studie beinhaltet umfangreiche Daten zu den Materiallagern und Bauabfallflüssen aus dem Hoch- und Tiefbau für die Schweiz und für alle Kantone für das Bezugsjahr 1997. Im Jahr 2008 erfolgte eine Aktualisierung der Modelle und Daten. Die Daten zum Hochbau ermittelte die Wüest & Partner AG. Das Update zum Tiefbau erfolgte durch die Energie- und Ressourcen-Management GmbH (ERM GmbH). Im Jahr 2015 erteilte das BAFU den beiden Unternehmen den Auftrag, eine weitere Aktualisierung für die beiden Bereiche vorzunehmen.

Teilprojekt Tiefbau

In der vorliegenden Studie sind die methodischen Ansätze und Resultate zur Abschätzung der Baumateriallager und Bauabfallmengen aus dem Bereich Tiefbau erläutert. Im Bauwerk «Tiefbau» enthalten sind die Strassen, Wege, Bahninfrastruktur, Kunstbauten und sämtliche Infrastrukturbauten wie die Trinkwasserversorgung, Abwasserentsorgung, Strom und Gasversorgung sowie die weiteren Infrastrukturbauten wie Staudämme, Gewässerverbauungen und militärische Anlagen. Die Abgrenzung zum Hochbausektor verläuft jeweils bis zur Grundstücksgrenze. Es werden somit alle Tiefbauwerke ausserhalb der Grundstücksgrenzen berücksichtigt.

1.2 Ziele

Im Rahmen der Aktualisierung der Bauabfallstudie werden die mineralischen Materiallager und Bauabfallmengen im Tiefbau für die Schweiz und die einzelnen Kantone abgeschätzt. Die Differenzierung erfolgt gemäss den folgenden Materialkategorien:

Materialien im Bestand

- Kies und Sand
- Asphalt
- Beton
- Mauerwerk
- Keramik, Steinzeug, zementgebundene Formsteine, Gleisaushub

Bauabfallgruppen

- Strassenaufbruch
- Ausbauasphalt
- Betonabbruch
- Mischabbruch
- Mineralische Restfraktion

Das Bezugsjahr ist 2013, sofern für dieses Jahr statistische Grundlagendaten zur Verfügung stehen, ansonsten werden die Daten aus früheren Jahren auf das Bezugsjahr 2013 hochgerechnet. Die Materiallager und -flüsse werden in Tonnen (t) respektive in t/Jahr sowie in Tonnen pro Einwohner (t/EW) angegeben. Neben der Bereitstellung der Daten werden die Erhebungsmethoden als auch die zugrunde liegenden Modelle beschrieben.

2 Methoden

2.1 Grundlagen zum Tiefbaubestand und zu den Bauabfallflüssen

Die Auswertungen zur Tiefbauinfrastruktur in der Schweiz und in den Kantonen basieren nach Möglichkeit auf bestehenden statistischen Grundlagen. Im Gegensatz zum Hochbau liegen diese Informationen in sehr unterschiedlicher Qualität vor. Auf der Ebene Schweiz kann die Datenlage als ausreichend bezeichnet werden. Auf kantonaler Ebene sieht die Situation je nach Kanton und Infrastrukturwerk jedoch unterschiedlich aus. Teilweise liegen kaum Daten für die Bestimmung der Materiallager vor. Deshalb müssen bei einigen Tiefbauwerken Hochrechnungen durchgeführt und Modelle entwickelt werden, um die Materiallager und Bauabfallmengen abzuschätzen. Ein recht umfangreicher Teil der methodischen Grundlagen wurde im Rahmen der Studie aus dem Jahr 2008 erarbeitet. Diese werden für die vorliegende Studie übernommen, aktualisiert, ergänzt und bei Bedarf ersetzt. Die Abschätzung der Materiallager im Bereich Tiefbau erfolgt auf Basis der einzelnen Infrastrukturwerke. Konkret bedeutet dies, dass die Materiallager separat für die Strassen- und Bahninfrastruktur inklusive Kunstbauten, für die Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie für die Gas- und Stromversorgung bestimmt werden. Die Aktualisierung des Lagerbestandes in den „weiteren Infrastrukturbauten“, das heisst in Staumauern, Gewässerverbauungen und militärischen Anlagen beruht ebenfalls auf den methodischen Grundlagen der Studie aus dem Jahr 2008. Ausgehend von den Materiallagern werden die Bauabfallflüsse mittels Erneuerungs- bzw. Instandsetzungsraten berechnet.

2.2 Modellaufbau

Das Modell zur Bestimmung der Materiallager im Tiefbaubestand stützt sich auf Datengrundlagen zu den Strassen-, Trassen- und Leitungslängen, den entsprechenden Querschnittprofilen und den Materialdichten (Abbildung 1). Der Materialbestand in den Kunstbauten der Strassen- und Bahninfrastruktur wird mittels der Tunnelbaustatistik, beziehungsweise auf Basis der Anzahl Brücken, Unter- und Überführungen pro Kilometer Strasse und Bahntrasse abgeschätzt. Das Materiallager in den „weiteren Infrastrukturwerken“ wird mittels statistischen Grundlagen und Hochrechnungen bestimmt. Die Bauabfallflüsse werden aus den Materiallagern in den einzelnen Bauwerken und den entsprechenden Erneuerungsraten¹ sowie den spezifischen Materialbedarfsfaktoren berechnet (Abbildung 1).

¹ Zur Vereinfachung sind die Beiträge aus den Instandsetzungsarbeiten in den Erneuerungsraten integriert.



Abbildung 1: Grobstruktur des Modells zur Bestimmung der mineralischen Materiallager und Bauabfallflüsse.

Die detaillierten Daten können für jeden Kanton in elektronischer Form als Excel-Dateien beim BAFU bezogen werden. In diesen Dateien sind jeweils in einem separaten Tabellenblatt die methodischen Grundlagen, die Veränderungen zur Studie aus dem Jahr 2008 und Angaben zur Validierung und Kalibrierung der Daten aufgeführt.

2.3 Datengrundlagen

Nachfolgend werden die wichtigsten Informationen zu den methodischen und statistischen Grundlagen gemäss der ersten Spalte in der Abbildung 1 aufgeführt und diskutiert. Ebenfalls aufgeführt sind erste Auswertungen zu den spezifischen Materiallagern. Diese sind in Tonnen pro Einwohner für die Summe der mineralischen Materialien (Kies/Sand, Asphalt, Mauerwerk und Beton) auf Kantonsebene und differenziert nach Infrastrukturbauten angegeben. Damit ist ein Vergleich der Netzlängen mit den spezifischen Materiallagern möglich. Diese Information ist deshalb wichtig, weil die Siedlungsdichte ein wesentlicher Faktor bei der Beurteilung der pro-Kopf-Daten auf kantonaler Basis darstellt.

3 Resultate

3.1 Länge der Infrastrukturbauten und Materiallager pro Einwohner

Strasseninfrastruktur

Insgesamt sind in der Schweiz 177'000 Kilometer Strassen verbaut. Den grössten Anteil beanspruchen die Übrigen Strassen² mit 99'000 Kilometern sowie die Gemeindestrassen mit 58'000 Kilometern. In der Kategorie Gemeindestrassen³ sind auch die Privatstrassen enthalten. Die Netzlänge der Kantonstrassen beträgt 18'000 Kilometer und das Nationalstrassennetz erreicht eine Länge von 1'700 Kilometern.

Die spezifische Netzlänge pro Einwohner ist stark von der Siedlungsdichte in einem Kanton abhängig. So beträgt diese im Kanton Jura knapp 62 Meter pro Einwohner (Abbildung 2, links). Im Gegensatz dazu ist die spezifische Netzlänge in städtischen Kantonen wie Genf mit 6 Metern pro Einwohner und Basel-Stadt mit gar 2.5 Metern pro Einwohner deutlich geringer. Der Durchschnittswert für die Schweiz liegt bei knapp 22 Metern pro Einwohner. Allerdings ist die Netzlänge alleine noch kein repräsentativer Indikator für den durch den Strassenbau ausgelösten Materialumsatz in einem Kanton. Denn die Übrigen Strassen benötigen deutlich weniger mineralische Materialien für den Bau, die Erneuerung und den Unterhalt als die anderen Strassentypen. Ersichtlich wird dies, wenn die Materiallager nach Strassentypen und in Tonnen pro Einwohner aufgeschlüsselt werden (Abbildung 2, rechts). Im Durchschnitt resultiert ein Materiallager von 102 Tonnen pro Einwohner für die Schweiz. Die weniger dicht besiedelten Kantone Jura und Graubünden erreichen mit 276 Tonnen pro Einwohner sowie 220 Tonnen pro Einwohner ein um rund eine Grössenordnung höheres pro-Kopf-Materiallager als die städtischen Kantone Genf (31 t/Ew.) und Basel-Stadt (22 t/Ew.). Die Differenzierung nach Strassentyp zeigt hingegen, dass die Übrigen Strassen einen relativ geringen Anteil an den gesamten Materiallagern in den Strassen einnehmen. Dieser kann trotzdem nicht vernachlässigt werden. Umgekehrt weisen die Nationalstrassen im Vergleich zur Netzlänge deutlich grössere Anteile bei den pro-Kopf-Materiallagern auf als die anderen Strassentypen. Dies wirkt sich entsprechend auf die Bauabfallmengen aus.

² Die Netzlängen der Übrigen Strassen setzen sich aus den Längen der Geh- und Radwege und aus den Forst- und Güterstrassen zusammen. Bei den Geh- und Radwegen wird angenommen, dass deren Netzlängen jeweils den Netzlängen der Gemeindestrassen entsprechen. Die Längen der Forst- und Güterstrassen wurden mittels den Erschliessungsdichten (in Metern Strasse pro Hektare Waldfläche) aus dem Landesforstinventaren LFI 2 (Brassai, P., Brändli, U.-B., 1999) und LFI 3 (Brändli, U.-B., 2010) abgeschätzt.

³ Die Netzlängen der Gemeinde- und Privatstrassen basieren auf Daten des Bundesamtes für Statistik. Da sich die Netzlängen in den vergangenen 30 Jahren kaum verändert haben, wurden die Längen über das Wachstum der Wohngebäudebestände zwischen 2000 und 2013 hochgerechnet. Die Berechnungen können aus der Exeldatei „Strassen“ im Blatt „Modell Gemeindestrassen“ entnommen werden.

Berücksichtigt sind ebenfalls die Kunstbauten. Insgesamt sind in den National- und Kantonsstrassennetzen 420 Kilometer Tunnelstrecken enthalten. Hinzu kommen rund 34 Kilometer Autobahnbrücken. Die Anzahl Über- und Unterführung im Nationalstrassennetz wird auf rund 1900 Stück geschätzt. Der Beitrag der Brücken, welche in den anderen Strassentypen eingebaut sind, wird auf 0.02% der gesamten Strassenfläche geschätzt, was rund 90 Hektar ergibt. Da die Kunstbauten vorwiegend in Beton erstellt werden, sind deren Beiträge zu den Materiallagern und Bauabfallmengen nicht zu vernachlässigen. Sie erreichen je nach Kanton einen Anteil von 0.02 – 3.8 Prozent am gesamten Materiallager.

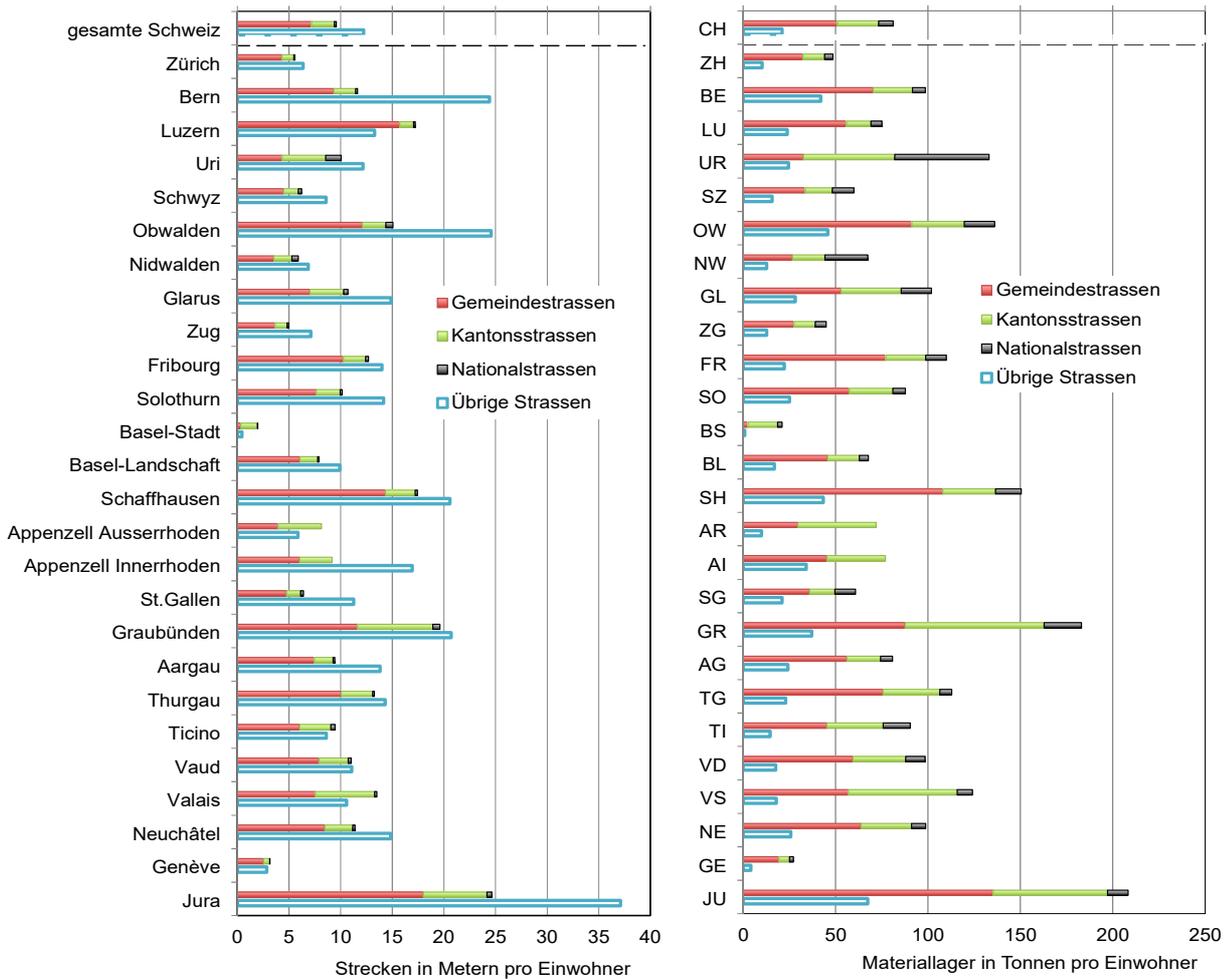


Abbildung 2: Strasseninfrastruktur nach Kantonen in Metern pro Einwohner (links) und Materiallager in den Strassen in Tonnen pro Einwohner (rechts). (Quellen: BFS, ASTRA, WSL; Berechnungen ERM GmbH)

Das gesamte Strassennetz - inklusive der Übrigen Strassen und der öffentlichen Parkplätze - beansprucht eine Fläche von über 78'000 Hektar. Werden die Übrigen Strassen und die öffentlichen Parkplätze nicht berücksichtigt, liegt die Flächenbeanspruchung bei rund 49'000 Hektar. Darin nicht enthalten sind die Nebenflächen wie Böschungen, begrünte Mittelstreifen und andere Reserveflächen.

Schieneinfrastruktur

Das Schienennetz in der Schweiz weist für das Bezugsjahr 2010⁽⁴⁾ eine Gesamtlänge von knapp 5'700 Kilometern auf. Mit knapp 3'000 Kilometern beansprucht die SBB etwas mehr als die Hälfte des Schienennetzes. Die übrigen Bahnen, das heisst die Privatbahnen, kommen auf eine Trassenlänge von rund 2'340 Kilometern. Die Netzlänge der Trambahnen (226 Kilometer), der Zahnradbahnen (92 Kilometer) und der Standseilbahnen (60 Kilometer) beträgt gesamthaft 378 Kilometer. Dies entspricht einem Anteil von knapp 7% am gesamten Schienennetz. Etwas mehr als 2'100 Kilometer Schienennetz ist mehrgleisig ausgebaut. Eine Hochrechnung auf Basis von Daten aus dem Jahr 1997 ergibt eine totale Gleislänge von rund 12'000 Kilometern.

Die Kunstbauten bilden einen wichtigen Bestandteil der Schieneinfrastruktur. So beträgt die gesamte Bahntunnellänge knapp 500 Kilometer. Hinzu kommen rund 8'300 Brücken, 6'900 Unter- und Überführungen sowie rund 2'400 Stützmauern. Die Materiallager in der Schieneinfrastruktur werden über spezifische, längen- oder stückabhängige Materialbedarfsfaktoren (in Tonnen pro Meter Gleis bzw. Tonnen pro Stück) abgeschätzt.

In der Schweiz sind durchschnittlich 1.7 Meter Gleise pro Einwohner verlegt (Abbildung 3, links). Wie bei der Strasseninfrastruktur liegen die Einwohnerwerte in dünn besiedelten Kantonen wie Graubünden und Jura mit rund 4 Metern pro Einwohner deutlich über dem schweizerischen Durchschnitt. Mit 7.1 Metern pro Einwohner wird im Kanton Uri der höchste Wert erreicht. Davon entfallen rund 0.6 Meter pro Einwohner auf Gleise in Tunneln. Am anderen Ende des Spektrums befinden sich wiederum die Kantone Basel-Stadt (0.22 m/EW.) und Genf (0.28 m/EW.).

Da die Materiallager aus den Längen und den längen- und stückabhängigen Materialbedarfsfaktoren berechnet werden, ergibt sich bei der Verteilung der Materiallager pro Einwohner ein ähnliches Bild wie bei der Auswertung der Gleislängen (Abbildung 3, rechts). Der Durchschnittswert für die Schweiz liegt bei 15.5 Tonnen pro Einwohner. Während im Kanton Uri ein Wert von knapp 50 Tonnen pro Einwohner erreicht wird, liegen die Werte in den Kantonen Basel-Stadt und Genf bei 5.7 respektive bei 6.0 Tonnen pro Einwohner.

Der Beitrag der Kunstbauten und Tunnel zu den Materiallagern ist erheblich. Deshalb werden diese für die weiteren Auswertungen berücksichtigt, insbesondere deshalb, weil diese grösstenteils in Betonbauweise erstellt wurden.

⁴ Die SBB und Privatbahnen stellen seit einigen Jahren keine aktualisierten Daten zum Schienennetz zur Verfügung. Die aktuellsten Daten stammen aus der Publikation «Schienennetz Schweiz – Bahnprofil Schweiz CH+» (H.G. Wägli, 2010). Diese wurden für die vorliegende Studie verwendet. Da das Schienennetz über kurze Zeiträume keine wesentlichen Veränderungen erfährt, wird angenommen, dass die Materiallager und -flüsse im Bezugsjahr 2013 annähernd den aus dem Bezugsjahr 2010 berechneten Mengen entsprechen.

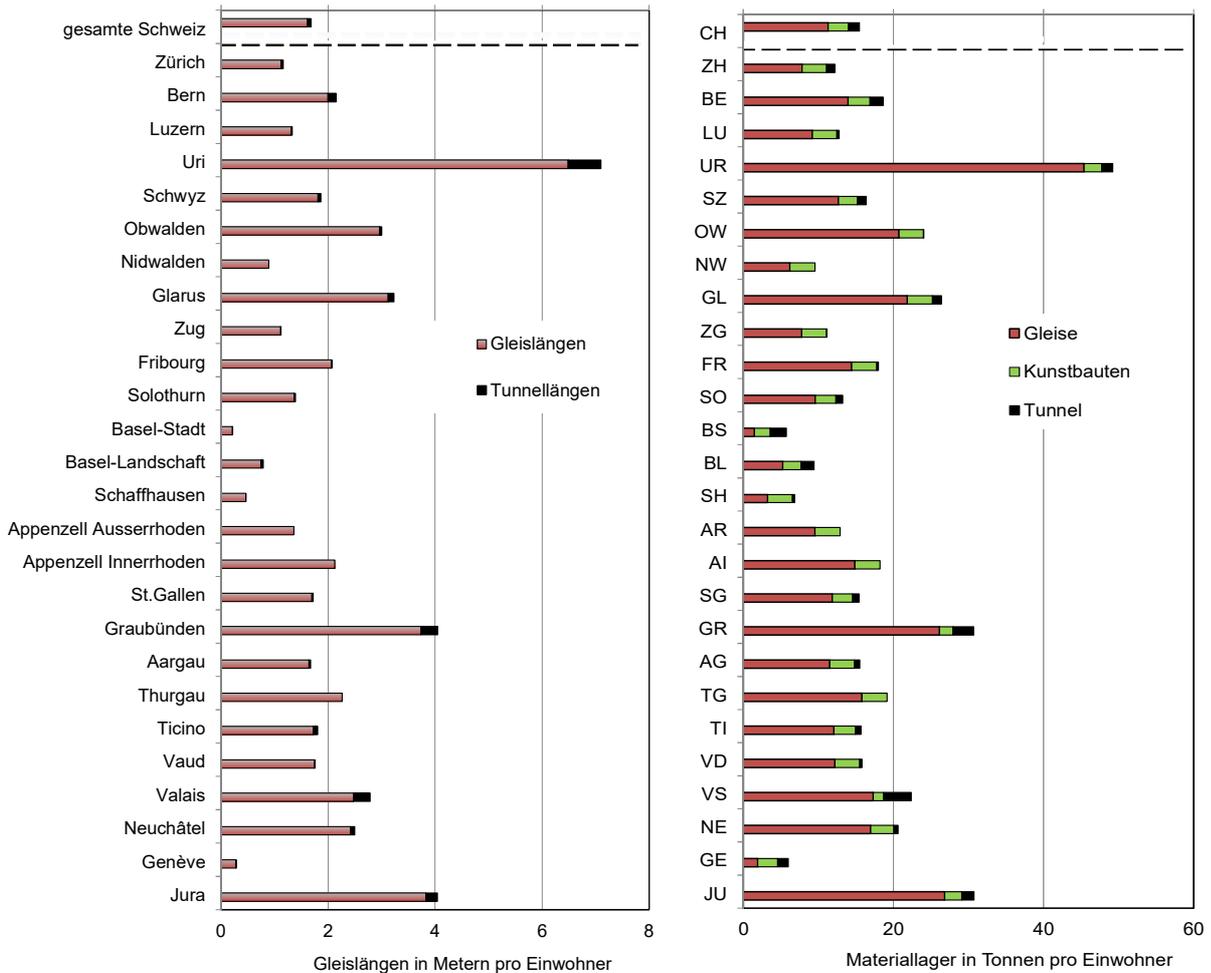


Abbildung 3: Schieneninfrastruktur nach Kantonen in Metern pro Einwohner (links) und Materiallager in den Strassen in Tonnen pro Einwohner (rechts). (Quellen: H.G. Wägli, Berechnungen ERM GmbH)

Infrastrukturnetze für die Ver- und Entsorgung und weitere Infrastrukturbauten

Im Bereich der Infrastrukturnetze sind die Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Gasversorgung und die Stromversorgung enthalten. Weitere Versorgungsnetze wie die Fernwärme- oder Telekommunikationsnetze werden aufgrund ihres geringen Einflusses auf die Bauabfallmengen nicht berücksichtigt. Hingegen sind die weiteren Infrastrukturbauwerke wie Staudämme, Gewässerverbauungen und militärische Anlagen bei der Erhebung der Materiallager berücksichtigt. Für die Abschätzung der Materiallager werden neben den Leitungslängen der einzelnen Infrastrukturnetze auch betriebsnotwendige Anlagenteile (Regenbecken, Klärbecken, usw.), welche nicht dem Hochbau zugeordnet sind, mit einbezogen.

Insgesamt sind in der Schweiz knapp 59'000 Kilometer Wasserversorgungsleitungen verbaut. Die spezifischen Leitungslängen der Wasserversorgung⁽⁵⁾ bewegen sich bis auf wenige Ausnahmen im Bereich von 5 bis 10 Metern pro Einwohner (Abbildung 4, links). Der schweizerische Durchschnitt liegt bei 7.2 Metern pro Einwohner. Damit bewegen sich die Werte in einer relativ engen Bandbreite. Der Grund hierfür ist, dass die Wasserversorgung weitgehend auf der Gemeindeebene erfolgt und die Struktur der Wasserversorgungsnetze ähnlich ist. Zudem weisen alle Kantone hohe Versorgungsgrade auf.

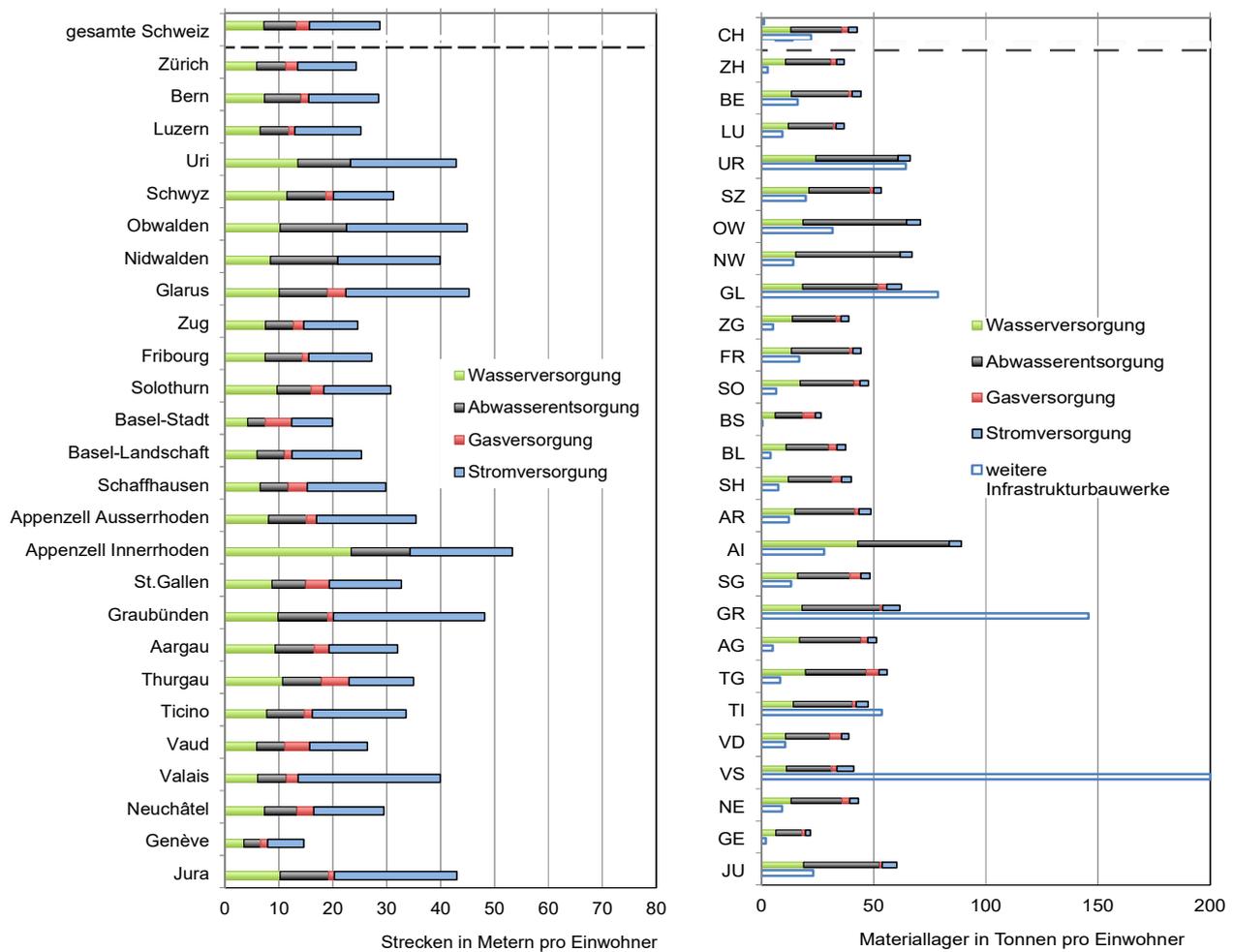


Abbildung 4: Infrastrukturnetze nach Kantonen in Metern pro Einwohner und Materiallager in Tonnen pro Einwohner. (Quellen: SVGW, Modell EAWAG und ERM GmbH, Berechnungen ERM GmbH)

⁵ Die Datengrundlagen zur Wasserversorgung stammen aus statistischen Erhebungen des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) für die Bezugsjahre 2010 und 2013. Teilweise wurden Daten auf Basis der Einwohnerzahl auf das Bezugsjahr 2013 hochgerechnet.

Bei der Abwasserentsorgung⁽⁶⁾ wird eine totale Leitungslänge von knapp 50'000 Kilometer erreicht. Auch hier liegen die meisten Werte im Bereich von 5 bis 10 Metern pro Einwohner (Abbildung 4). Nur in den weniger dicht besiedelten Kantonen Nidwalden, Obwalden und Appenzell Innerrhoden werden höhere Werte von 11 – 12 Metern pro Einwohner erreicht. In den städtischen Kantonen Basel-Stadt und Genf liegt der Wert bei etwas mehr als 3 Metern pro Einwohner. Für die gesamte Schweiz resultiert ein Durchschnittswert von 6 Metern pro Einwohner.

Das Gasversorgungsnetz ist mit einer Gesamtlänge von knapp 20'000 Kilometer das kleinste Infrastrukturnetzwerk⁽⁷⁾. In mehreren Kantonen sind keine Gasversorgungsnetze installiert. Auf die gesamtschweizerische Ebene bezogen liegt der pro-Kopf-Wert bei 2.4 Metern pro Einwohner (Abbildung 4, links). Die höchsten Werte werden in den Kantonen Thurgau (5 m/EW.) und Basel-Stadt (4.8 m/EW.) erreicht.

Das Stromversorgungsnetz erreicht eine Gesamtlänge von knapp 110'000 Kilometern, was knapp der Hälfte der gesamte Netzlänge aller Infrastrukturnetzwerke entspricht. Der durchschnittliche pro-Kopf-Wert für die gesamte Schweiz liegt bei 13 Metern pro Einwohner⁽⁸⁾. Die kantonalen Werte bewegen sich im Bereich von 6.7 m/EW im Kanton Genf bis 28 m/EW im Kanton Graubünden.

Die Materiallager in den Ver- und Entsorgungsnetzen erreichen auf der Ebene Schweiz knapp 43 Tonnen pro Einwohner. Wird der Beitrag aus den weiteren Infrastrukturbauten mit einbezogen, steigt dieser Wert auf 65 Tonnen pro Einwohner an (Abbildung 4, rechts). Damit liegt der pro-Kopf-Wert zwischen jenen der Strassen- und Schieneninfrastruktur. Die spezifischen Werte für die einzelnen Infrastrukturnetze in den Kantonen korrelieren mit den entsprechenden

⁶ Die Leitungslängen zur Abwasserentsorgung wurden mittels eines Modells aus dem Jahr 2006 berechnet (EAWAG 2006). Die Hochrechnung für das Bezugsjahr 2013 erfolgt auf pro-Kopf-Basis d.h., auf Basis der Einwohnerzahl der Kantone multipliziert mit dem Anschlussgrad und mit einem zugeordneten Parameter zur Siedlungsdichte der jeweiligen Kantone.

⁷ Der SVGW erhebt seit einigen Jahren keine detaillierten Daten mehr zu den Netzlängen in den Kantonen. Die vorliegende Abschätzung der Leitungslängen basiert auf den Angaben des SVGW für das Bezugsjahr 2013 für die gesamte Schweiz sowie auf den kantonalen Daten aus dem Jahr 2006, welche auf das Bezugsjahr 2013 hochgerechnet wurden.

⁸ Es liegen keine Daten zu den Netzlängen der Stromversorgung für die einzelnen Kantone vor. Aus diesem Grund wurden die Daten von 18 regionalen Elektrizitätsunternehmen ausgewertet. Es konnte ein Zusammenhang zwischen den Leitungslängen (Mittel- und Niederspannung) und dem Stromverbrauch ermittelt werden. Der Quotient «Meter Leitungslänge dividiert durch MWh Energiebezug» ist für städtische, ausserstädtische und ländliche Gebiete (bzw. Kantone) unterschiedlich, aber innerhalb dieser Kategorien recht konsistent. Für die Abschätzung der Netzlängen in den Kantonen wurden die Faktoren mit den Endenergiebezugswerten der Kantone, welche aus einer Studie der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW, 2014) entnommen wurden, multipliziert. Der Anteil der kabelverlegten Hochspannungsnetze wird auf 1% geschätzt.

Leitungslängen. Allerdings fällt beim Vergleich von Leitungslängen und Materiallager auf, dass insbesondere die Abwasserentsorgung aufgrund der grossen Leitungsquerschnitte einen überproportionalen Beitrag zum Materiallager leistet. Gerade umgekehrt verhält es sich mit der Stromversorgung: Diese ist deutlich weniger materialintensiv. Die pro-Kopf-Werte für die Abwasserentsorgung bewegen sich im Bereich von 12 bis 46 Tonnen pro Einwohner, wobei der Durchschnittswert für die gesamte Schweiz bei knapp 23 Tonnen pro Einwohner zu liegen kommt. Bei der Wasserversorgung bewegen sich die Werte zwischen 6 und 43 Tonnen pro Einwohner. Der gesamtschweizerische Durchschnittswert beträgt 13 Tonnen pro Einwohner. Für die Gas- und Stromversorgung resultieren Durchschnittswerte von 2.7 bzw. 3.9 Tonnen pro Einwohner.

Der Beitrag der weiteren Infrastrukturbauten kann je nach Kanton erheblich sein und die Materiallager der Infrastrukturnetze teilweise deutlich übertreffen. Dies ist insbesondere in den Kantonen Wallis, Graubünden und Glarus der Fall (Abbildung 4, rechts). In diesen Kantonen stehen die meisten und grössten Staumauern. Wie sich später herausstellen wird, haben diese Materiallager aber aufgrund der tiefen Erneuerungsraten nur einen geringen Einfluss auf die Bauabfallmengen.

3.2 Materiallager und Zusammensetzung der Infrastrukturbauten

Ebene Schweiz

Auf Basis der Bestandserhebungen und mit Hilfe der Querschnittsprofile sowie den längen- oder stückabhängigen Materialbedarfsfaktoren der einzelnen Infrastrukturwerke lassen sich die Materiallager in detaillierter Weise ermitteln und differenziert nach Baustoff bzw. nach Infrastrukturwerk darstellen. Die gelagerten mineralischen Baustoffe im Tiefbaubestand bilden den Ausgangspunkt für die weiteren Abschätzungen der jährlich anfallenden Bauabfallmengen im nächsten Kapitel.

Im Tiefbaubestand befinden sich mineralische Baustoffe im Umfang von 1.56 Milliarden Tonnen (Abbildung 5). Der grösste Teil davon, nämlich 932 Millionen Tonnen oder knapp 60 Prozent, sind in der Strasseninfrastruktur verbaut. In der Schieneninfrastruktur sind inklusive der Kunstbauten knapp 100 Millionen Tonnen Material gelagert. Die Wasserversorgung bewegt sich mit 107 Millionen Tonnen auf ähnlichem Niveau. Recht grosse Beiträge zum Materiallager liefern die Abwasserentsorgung mit 186 Millionen Tonnen und die weiteren Infrastrukturbauten (180 Mio. Tonnen). Die Gas- und Stromversorgung nehmen mit 22 bzw. 32 Millionen Tonnen eine untergeordnete Rolle ein. Die Differenzierung nach Materialkategorien zeigt, dass der grösste Teil des Materiallagers aus Kies und Sand besteht (Abbildung 6). Insgesamt beträgt das Kies/Sand-Lager 1.06 Milliarden Tonnen, was einem Anteil von 68 Prozent des gesamten Materiallagers entspricht. Aus der Grafik geht zudem hervor, dass wiederum 68 Prozent dieser Materialgruppe in den Strassen-fundationen eingebaut sind. In den Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsnetzen sind 113 respektive 105 Millionen Tonnen Kies/Sand gelagert. Die Kies- und Sandlager in den Gasversorgungs- und Stromnetzen bewegen sich mit rund 20 Millionen Tonnen im Bereich von rund 2 Prozenten des gesamten Kies/Sand-Lagers.

Das Asphaltlager befindet sich vorwiegend⁹ in der Strasseninfrastruktur und ist mit 165 Millionen Tonnen umfangreich. Durch die exponierte Lage an der Oberfläche ist diese Materialgruppe besonders starken Beanspruchungen ausgesetzt, was zu höheren Erneuerungsraten und damit verbunden zu vergleichsweise grossen Bauabfallmengen führen wird.

Das Betonlager erreicht mit 306 Millionen Tonnen den zweithöchsten Wert der Materialgruppen im Tiefbau. Etwas mehr als die Hälfte des Betonlagers ist in der weiteren Infrastruktur gelagert. Hier liegen die Erneuerungsraten wesentlich tiefer als in den anderen Infrastrukturwerken. Das Mauerwerk und die weiteren mineralischen Materialien leisten nur sehr geringe Beiträge zum Materiallager in Tiefbaubereich.

⁹ Im Schienennetz wird beim Neubau von Trassen teilweise Asphaltbelag eingesetzt. Hierzu sind keine Daten verfügbar. Aufgrund des verhältnismässig geringen Einsatzes von Asphaltbelag und der relativ geringen Breite ist der Beitrag des Asphaltbelags aus dem Schienennetz nicht berücksichtigt.

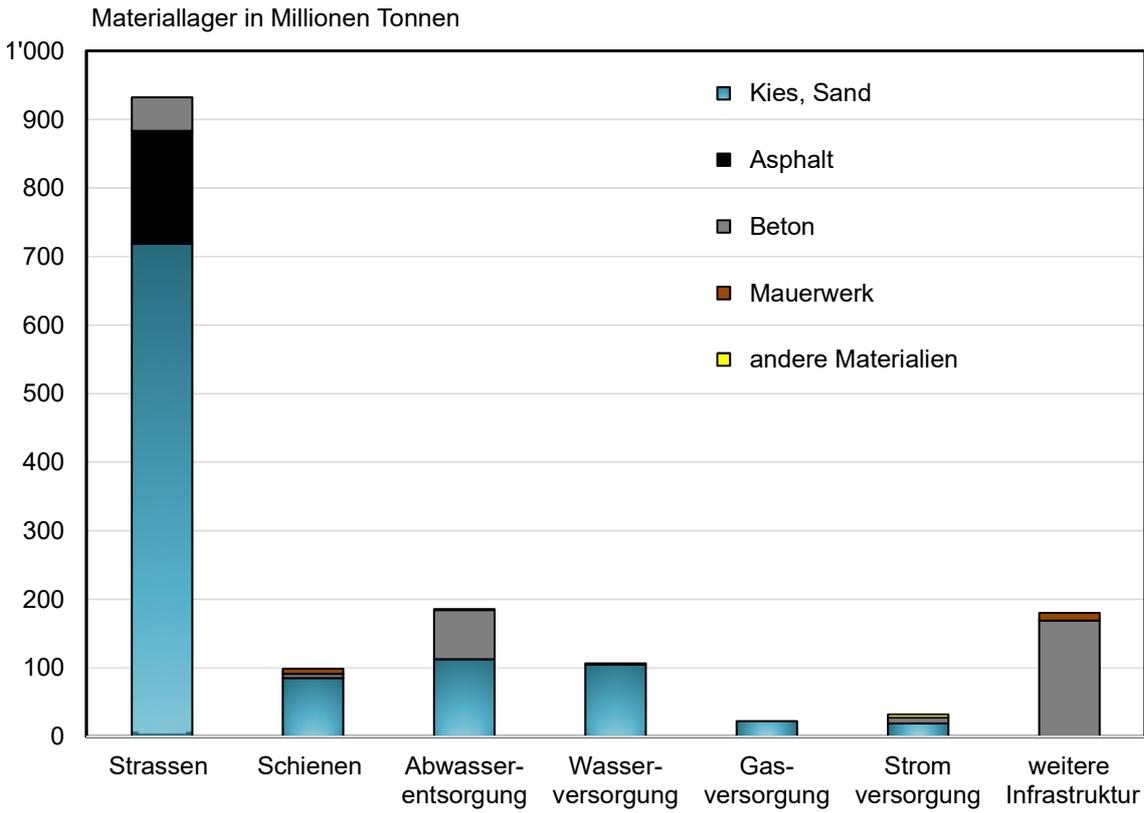


Abbildung 5: Materiallager im Tiefbaubereich nach Infrastrukturwerken in Millionen Tonnen.

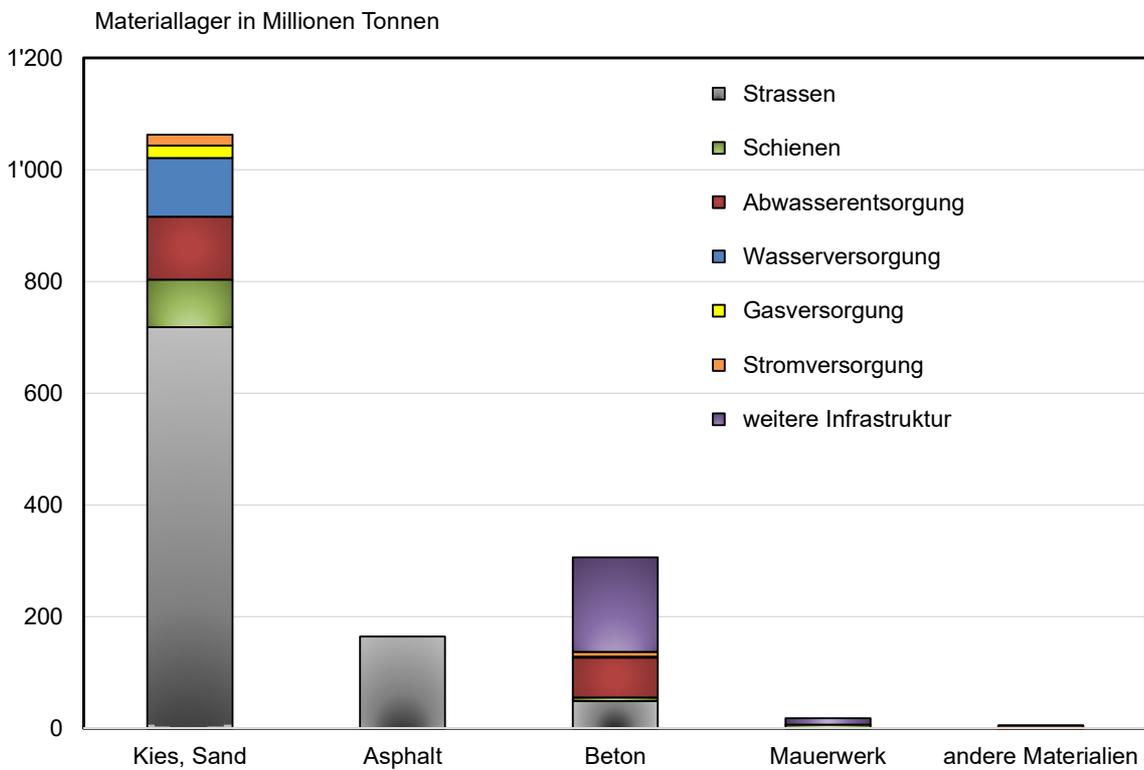


Abbildung 6: Materiallager im Tiefbaubereich nach Materialgruppen in Millionen Tonnen.

Materiallager in den Kantonen

Die Materiallager in den Kantonen können in absoluter Form oder bezogen auf die Einwohnerzahl dargestellt werden. In der Abbildung 7 (links) sind die Materiallager in Millionen Tonnen aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass entweder die grossflächigen oder die mittelgrossen, aber dichtbesiedelten Kantone, Materiallager von über 100 Millionen Tonnen aufweisen. Das grösste Materiallager wird mit 230 Millionen Tonnen im Kanton Bern erreicht, gefolgt vom Kanton Zürich mit 163 Millionen Tonnen. Am anderen Ende des Spektrums liegen die kleinflächigen bzw. weniger stark besiedelten Kantone wie beispielsweise Zug, Basel-Stadt, die Halbkantone Nidwalden und Obwalden und Appenzell Inner- und Ausserrhoden. Hier bewegen sich die Materiallager im Bereich von 4 bis 14 Millionen Tonnen.

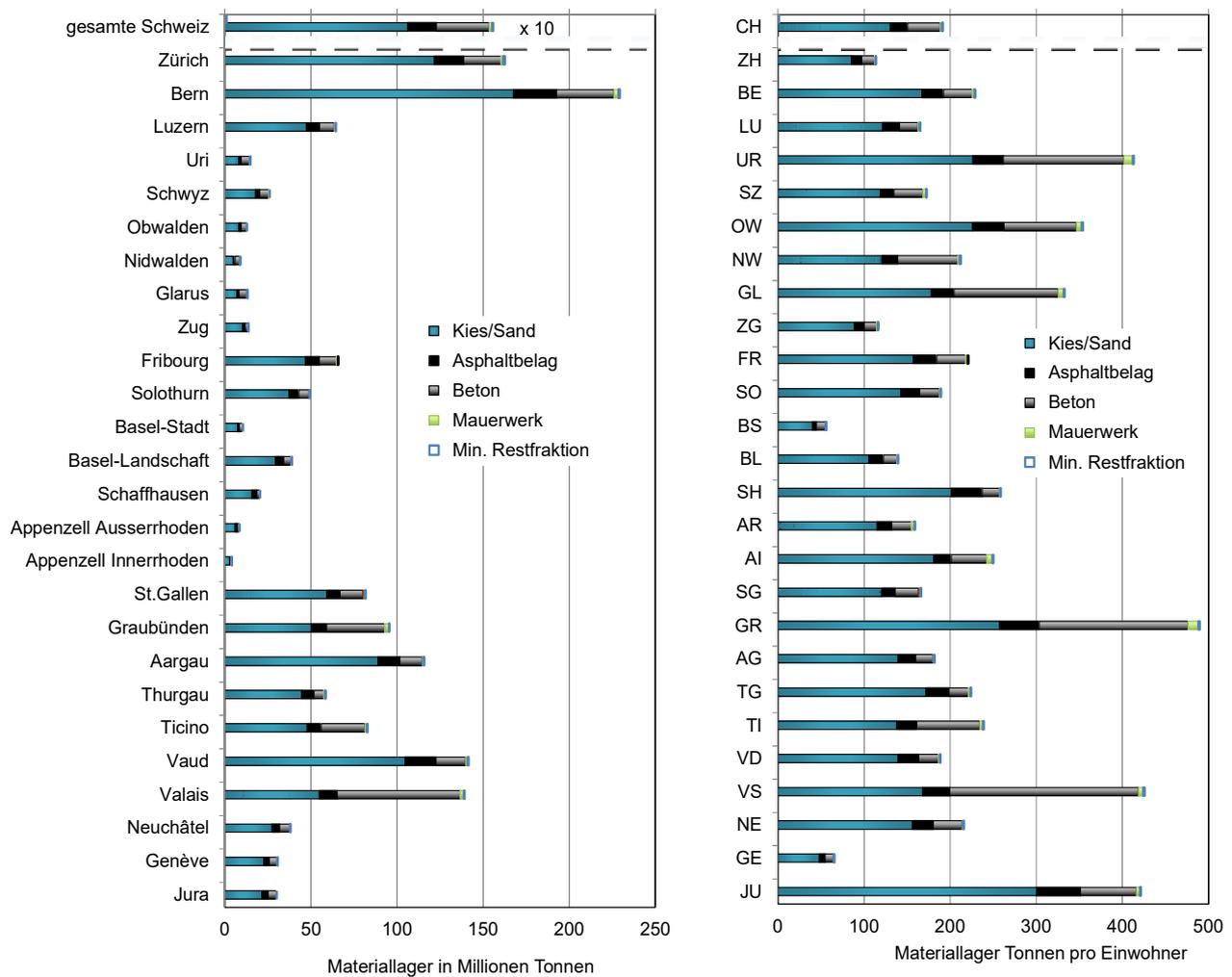


Abbildung 7: Materiallager in den Kantonen in Millionen Tonnen (links) und in Tonnen pro Einwohner (rechts). Die angegebenen Werte für die gesamte Schweiz müssen in der Grafik links mit dem Faktor 10 multipliziert werden. (Quelle: ERM GmbH)

Das Bild sieht etwas anders aus, wenn die Materiallager auf die Einwohnerzahl bezogen werden (Abbildung 7, rechts): Nun weisen die weniger dichtbesiedelten Kantone die grössten pro-Kopf-Werte auf. Den Höchstwert erreicht mit 490 Tonnen pro Einwohner der Kanton Graubünden. Die Kantone Uri, Wallis und Jura liegen im Bereich von 420 Tonnen pro Einwohner.

Erwartungsgemäss liegen die Werte in den städtischen Kantonen Basel-Stadt und Genf mit 56 und 65 Tonnen pro Einwohner deutlich tiefer. Der gesamtschweizerische Durchschnitt liegt bei 191 Tonnen pro Einwohner.

3.3 Bauabfälle durch Erneuerung

Im Gegensatz zum Hochbau sind die Erneuerungen und Instandsetzungen im Tiefbau die Hauptquellen der mineralischen Bauabfällen. Der Rückbau von Strassen-, Bahn- und weiteren Infrastrukturanlagen bewegt sich auf vernachlässigbarem Niveau. Die Strassen- und Bahnnetze wachsen auf den Hauptachsen und zwischen den Zentren im Vergleich zum Bestand nur noch geringfügig. Ein Teil des Lagerwachstums ist auf die Verstärkung des Strassenaufbaus aufgrund der zunehmenden Belastung sowie auf Fahrbahnausbauten zurückzuführen. Auf der Gemeindeebene hingegen wachsen die Infrastrukturnetze aufgrund des Siedlungsflächenwachstums immer noch, da die neuen Siedlungsflächen mit entsprechenden Infrastrukturbauten erschlossen werden müssen. Damit nimmt das Materiallager im Bestand auch künftig weiter zu. Allerdings ist der Beitrag von Bauabfällen aus dem Neubau von Infrastrukturnetzen im Vergleich zur Erneuerung vernachlässigbar.

Die Bauabfallmengen, welche im Rahmen von Erneuerungs- und Instandsetzungsarbeiten anfallen, werden mittels Modellrechnungen, in denen die Lebensdauer der einzelnen Infrastrukturwerke und der verschiedenen Materialschichten in den Strassen berücksichtigt sind, und weiteren spezifischen Kennwerten abgeschätzt. Dabei werden die mit dem Modell ermittelten Erneuerungs- bzw. Instandsetzungsraten mit den jeweiligen Materiallagern multipliziert. Die Abschätzungen der Bauabfallmengen in den Kantonen basieren alle auf den gleichen Erneuerungs- und Instandsetzungsraten⁽¹⁰⁾. Damit kann es sein, dass die angegebenen Bauabfallmengen in den Kantonen teilweise etwas überschätzt oder unterschätzt werden. Allerdings dürften die Abweichungen zu den tatsächlich anfallenden Bauabfallmengen, welche ja oftmals nicht bekannt sind, nicht sehr gross sein, weil durch die Systematik der Bilanzierung über die verschiedenen Infrastrukturbauten ein gewisser Ausgleich stattfindet. Der einheitliche Aufbau des Modells ermöglicht es den Kantonen jedoch, die Modellparameter bei Vorliegen von besser abgestützten Grundlagendaten anzupassen, so dass diese mit den erhobenen Daten in Übereinstimmung gebracht werden können.

¹⁰ Die aus der Erneuerung von Strassen anfallende Bauabfallmenge ist die mengenmässig wichtigste Kategorie. Aus diesem Grund wurden die mit den Modellgrundlagen berechneten Ausbausphaltemengen in den Kantonen Zürich, Thurgau und St. Gallen mit Daten, welche im Rahmen einer Studie (Rubli 2013) von diesen Kantonen erhoben wurden, verglichen. Die Abweichung zu diesen Werten liegen im Bereich von $\pm 12\%$ für den Ausbausphalt und $\pm 30\%$ beim Strassenaufbruch. Die recht hohe Abweichung beim Strassenaufbruch ist darauf zurückzuführen, dass die Verteilung, welche Anteile vor Ort aufbereitet werden und welche Anteile in die externe Entsorgung gehen, nicht bekannt ist und unterschiedlich sein kann. Für die vorliegende Studie wurde beispielsweise bei allen Kantonen angenommen, dass 50% des anfallenden Strassenaufbruches vor Ort verwertet werden und die anderen 50% in eine externe Entsorgung gelangen.

Es stehen kaum Informationen betreffend der Materialverwertung vor Ort auf der Baustelle zur Verfügung. Um dennoch diesbezügliche Angaben machen zu können, wurden Zuordnungen auf Basis von Informationen aus der Branche für die einzelnen Materialkategorien und Infrastrukturbereiche vorgenommen. Im Modell wird für alle Kantone standardmässig vorausgesetzt, dass 50% des anfallenden Strassenaufbruchs wieder vor Ort eingesetzt wird. Der Rest geht in die externe Entsorgung. Beim Ausbauasphalt liegt der Anteil, welcher vor Ort aufbereitet und eingesetzt wird, bei 10%. Bei den anderen Materialfraktionen wird angenommen, dass kein bzw. vernachlässigbare Anteile vor Ort aufbereitet und eingesetzt werden.

Insgesamt werden in der Schweiz jährlich rund 8.4 Millionen Tonnen mineralische Bauabfälle im Tiefbaubereich generiert (Abbildung 8). Davon werden rund 2.1 Millionen Tonnen vor Ort, das heisst, direkt auf der Baustelle wieder eingesetzt. Mit rund 6.2 Millionen Tonnen stammen drei Viertel der Bauabfälle aus der Erhaltung der Strassennetze. Hier werden knapp 1.9 Millionen Tonnen vor Ort wiederverwendet. Der Rest gelangt in die externen Entsorgungsprozesse, das heisst, in die Aufbereitung oder Deponierung. Im Rahmen der Erneuerung der Schieneninfrastruktur fallen jährlich rund 1 Million Tonnen Bauabfälle an, welche beinahe ausschliesslich in die externe Entsorgung gelangen. Bei der Instandsetzung der restlichen Infrastrukturnetze inklusive der weiteren Infrastruktur resultieren insgesamt 1.2 Millionen Tonnen Bauabfälle. Neben dem Strassenaufbruch fallen vor allem Beton- und Mischabbruch und in geringem Umfang auch mineralische Restfraktionen an.

Die Differenzierung der anfallenden Bauabfallmengen nach Materialgruppe in der Abbildung 9 zeigt, dass der Strassenaufbruch mit rund 4.5 Millionen Tonnen den mengenmässig grössten Beitrag zum Bauabfallanfall leistet. Immerhin 44% werden vor Ort wieder eingesetzt und müssen demnach nicht transportiert werden. Nicht unerwartet überwiegt der Beitrag der Strassen in dieser Materialkategorie. Auch die Schieneninfrastruktur leistet mit knapp 0.9 Millionen Tonnen einen wesentlichen Beitrag zum «Strassenaufbruch». Hier handelt es sich nicht im eigentlichen Sinn um Strassenaufbruch, sondern um Kies und Sand aus der Foundation sowie Gleisschotter, der in externen Anlagen wieder aufbereitet werden kann.

Auch der Ausbauasphalt erreicht mit 2.5 Millionen Tonnen eine markante Menge. Geschätzte 90% des Materialanfalls gelangen in die externe Entsorgung, das heisst sie werden aufbereitet oder auf Deponien abgelagert.

Mit über 1.2 Millionen Tonnen beträgt der Anfall von Betonabbruch rund 50% der Ausbauasphaltmenge. Die Herkunft des Betonabbruchs ist jedoch im Gegensatz zum Ausbauasphalt heterogen. Diese Bauabfallfraktion stammt beinahe von allen Infrastrukturnetzen und den weiteren Infrastrukturbauten. Der Mischabbruch und die mineralischen Restfraktionen fallen in relativ geringem Umfang an. Zusammen sind dies rund 0.34 Millionen Tonnen, welche extern aufbereitet oder deponiert werden.

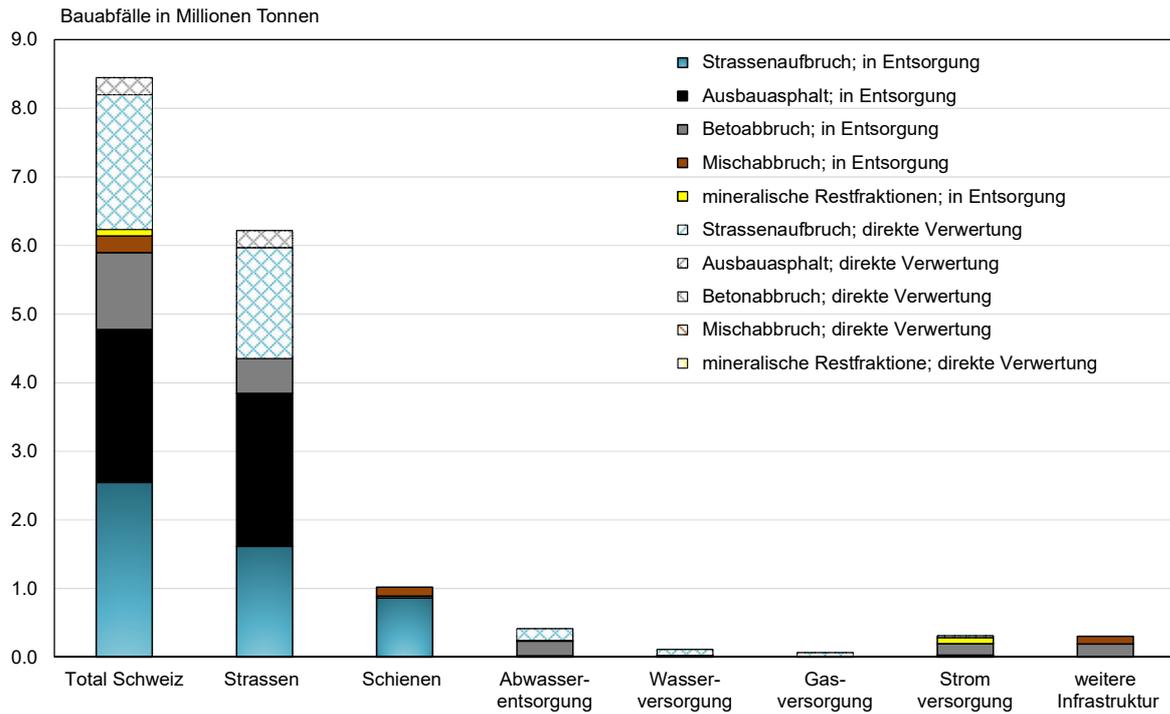


Abbildung 8: Bauabfallmengen im Tiefbaubereich nach Infrastrukturwerken in Millionen Tonnen.

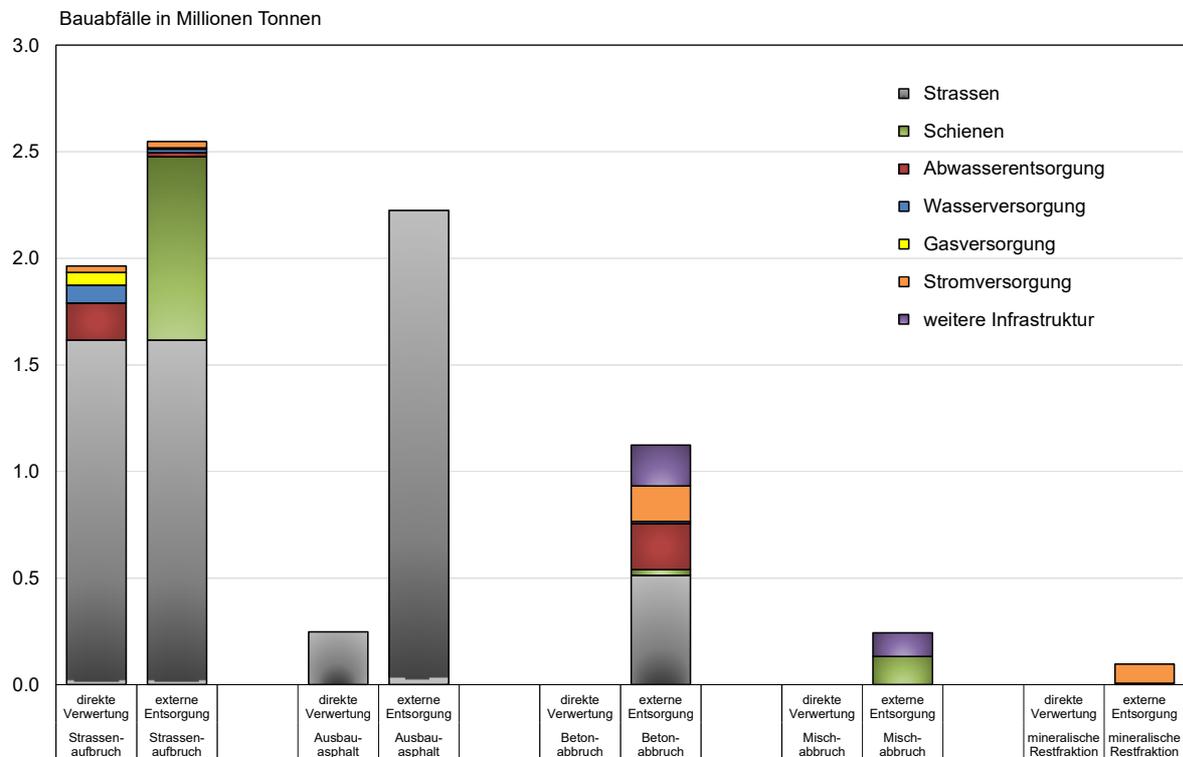


Abbildung 9: Bauabfallmengen im Tiefbaubereich nach Materialgruppen in Millionen Tonnen.

4 Perspektive der Bauabfälle Tiefbau

4.1 Entwicklung der Baumateriallager

Für die längerfristige Entwicklung der Bauabfallmengen aus dem Tiefbau sind vor allem die Erneuerungen inklusive Instandsetzungen von wesentlicher Bedeutung. Zwar können die Erneuerungs- und Instandsetzungszyklen aufgrund knapper Finanzierungsmittel ausgedehnt werden, was zu geringeren Bauabfallmengen führen würde, allerdings leidet die Qualität der Infrastrukturnetze entsprechend, was in erhöhten Unterhaltskosten mündet. Durch die mit der Bevölkerungsentwicklung einhergehende stärkere Belastung der Infrastrukturwerke - insbesondere der Strassen- und Bahninfrastruktur - sowie die Erhöhung der maximalen Transportkapazitäten, muss bereits heute der Schichtaufbau in diesen Infrastrukturbauten verstärkt werden. Der damit einhergehende erhöhte zukünftige Materialbedarf ist im Modell zur Abschätzung der Bauabfälle berücksichtigt. Für die Abschätzung der künftig anfallenden Bauabfallmengen werden die Erneuerungsraten unverändert belassen.

Die Berechnung der Bauabfallmengen basiert auf den Materiallagern im Tiefbaubestand und den oben erwähnten Erneuerungsraten. Mit rund 60 Prozent Anteil (Kapitel 0) leistet die Strasseninfrastruktur den wichtigsten Beitrag zum Bestandslager. Aus diesem Grund ist die Entwicklung des Materiallagers in der Strasseninfrastruktur von grosser Bedeutung für die langfristige Entwicklung der Bauabfallmengen.

In der Abbildung 10 ist die abgeschätzte Entwicklung des Materiallagers in den National-, Kantons- und Gemeinde-/Privatstrassen (exklusive Geh- und Radwege und Übrige Strassen) für den Zeitraum 1970 bis 2025 dargestellt. Die modellierte Entwicklung für den Zeitraum 2015 bis 2025 basiert auf der Modellannahme, dass sich das Längenwachstum der Gemeinde-/Privatstrassen unterproportional zum Bevölkerungswachstum entwickelt. Das zugrundegelegte Bevölkerungswachstum entspricht dem Referenzszenario A-00-2015 des Bundesamtes für Statistik (BFS 2015). Die Länge der Kantonsstrassen bleibt unverändert, die Nationalstrassenlänge nimmt hingegen um 3.7 Prozent zu. Das Materiallager betrug bereits im Jahr 1970 knapp 490 Millionen Tonnen. Heute liegt dieses bei rund 667 Millionen Tonnen und bis 2025 wird dieses gemäss Modellrechnung auf 682 Millionen Tonnen anwachsen. Während zu Beginn des betrachteten Zeitraumes die Nationalstrassen einen relativ wichtigen Beitrag zum Lagerwachstum geleistet haben, sind es heute vor allem die Gemeinde- und Privatstrassen, die mit der Ausdehnung der Siedlungsflächen mitwachsen.

Die in der Abbildung 10 dargestellte Entwicklung lässt erkennen, dass mit dem Lagerwachstum auch die Bauabfallmenge bis zum Jahr 2025 zunehmen wird. Ein Anstieg der Bauabfallmenge wäre auch dann noch zu verzeichnen, wenn das Materiallager nicht mehr wachsen würde, weil die Verweilzeit der neu eingebauten Materialien bis zu deren Austausch (Materiallebensdauer) zu berücksichtigen ist. Somit verschiebt sich deren Materialanfall um die entsprechenden Zeiträume.

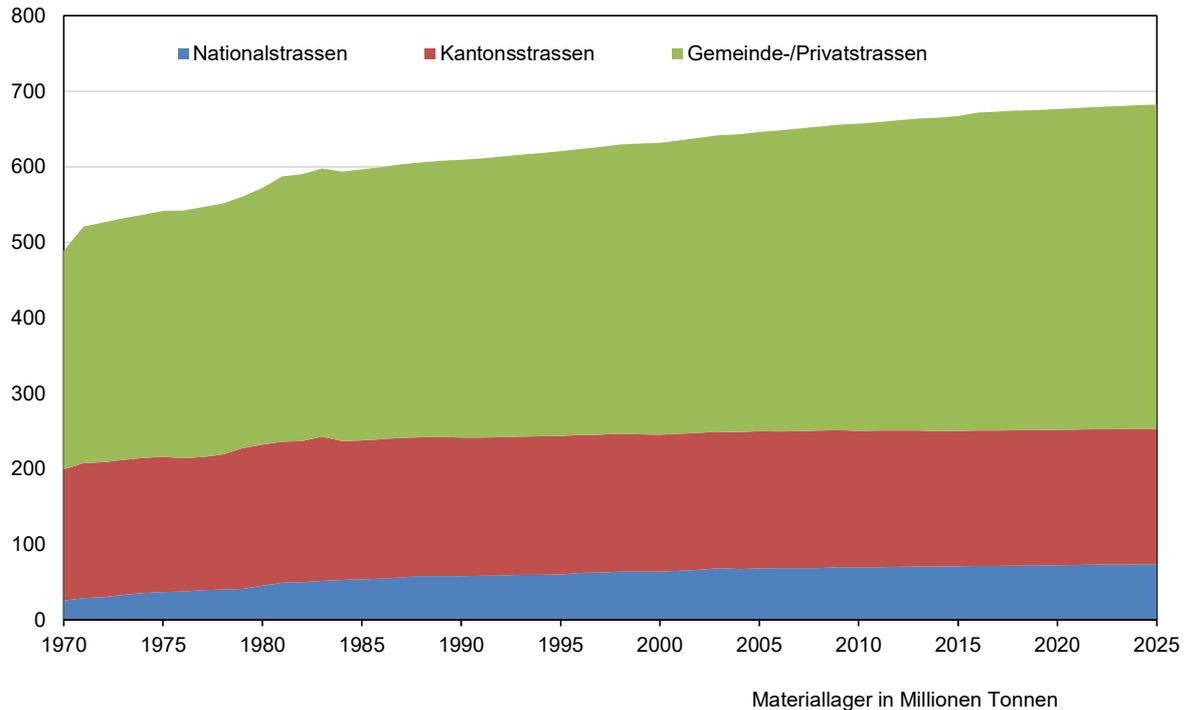


Abbildung 10: Abgeschätzte Entwicklung der Materiallager in den Strassen (ohne Geh- und Radwege und Übrige Strassen) bis zum Jahr 2025.

Der Beitrag der weiteren Infrastrukturwerke zu den Materiallagern sowie die daraus abgeleiteten Bauabfallmengen wurden ebenfalls auf Basis der Bevölkerungsentwicklung berechnet. Bei der Bahninfrastruktur wurden die in den kommenden Jahren in Betrieb gehenden (NEAT usw.) und die zu erwartenden Bahnprojekte, welche bis 2025 in Betrieb gehen, berücksichtigt.

4.2 Entwicklung der Bauabfallmengen nach Materialgruppen

Um die Entwicklung der Bauabfallmengen darzustellen, wurden die Jahre 2005, 2015 und 2025 auf Basis der Bevölkerungsentwicklung modelliert. In der Abbildung 11 sind diese für die einzelnen Infrastrukturwerke sowie für das Total dargestellt, wobei die direkte Verwertung vor Ort nicht darin enthalten ist. Die in die Entsorgungsprozesse gelangende Bauabfallmenge wird gemäss der modellierten Entwicklung bis zum Jahr 2025 auf 6.58 Millionen Tonnen pro Jahr ansteigen, was gegenüber 2015 einer Zunahme von 0.33 Millionen Tonnen pro Jahr entspricht. Den grössten Beitrag leistet der Strassenaufbruch mit jährlich 2.64 Millionen Tonnen (+ 0.09 Mio. t/a gegenüber 2015), gefolgt von Ausbauasphalt mit 2.37 Millionen Tonnen pro Jahr (+0.156 Mio. t/a). Die absolute Zunahme ist somit beim Ausbauasphalt grösser als beim Strassenaufbruch. Der Betonabbruchanfall liegt im Jahr 2025 bei rund 1.21 Millionen Tonnen pro Jahr, was einer Zunahme von knapp 69,000 Tonnen pro Jahr gegenüber 2015 entspricht.

Die Entwicklung des Mischabbruchanfalls und der mineralischen Restfraktionen verlaufen grundsätzlich ähnlich, aber auf deutlich tieferem Niveau.

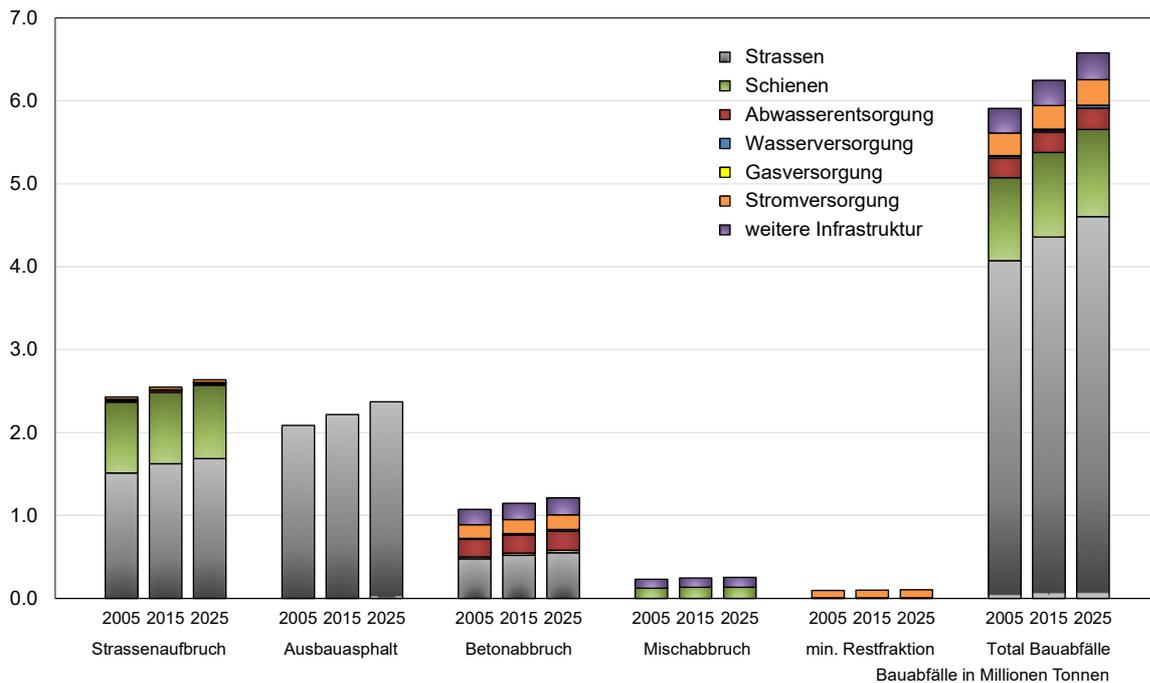


Abbildung 11: Entwicklung der Bauabfallmengen (ohne direkte Verwertung) im Tiefbau CH nach Infrastrukturwerken und als Total in Millionen Tonnen für die Jahre 2005, 2015 und 2025. (Berechnungen ERM GmbH)

In der Abbildung 11 ist neben der Differenzierung der Bauabfallmengen nach Bauabfallfraktionen auch die Herkunft der Bauabfälle erkennbar. Rund 70 Prozent der Bauabfälle stammen aus der Strasseninfrastruktur, weitere 16 Prozent beansprucht die Schieneninfrastruktur. Knapp 14 Prozent der Bauabfälle stammen zu etwa gleichen Teilen aus der Erneuerung von Abwasserentsorgung, Stromversorgung und der weiteren Infrastruktur. Der Beitrag der Bauabfallmengen aus der Gas- und Wasserversorgung ist kleiner als 1 Prozent. Einerseits ist das Gasversorgungsnetz relativ klein, andererseits kann im Rahmen der Erneuerung der Gas- und Wasserversorgung relativ viel Strassenaufbruch vor Ort wieder eingesetzt werden.

5 Literatur

- Bundesamt für Statistik BFS, 2015: *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2015–2045*. BFS Aktuell, Neuchâtel.
- Brändli, U.-B., 2010: *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006*. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Bern, Bundesamt für Umwelt, BAFU.
- Brassai, P.; Brändli, U.-B., 1999: *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995*. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.
- Eymann L. et. al. 2014: *Energieverbrauch der Schweizer Kantone*. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wädenswil. Im Auftrag der Schweizerischen Energie-Stiftung (SES), Zürich.
- Maurer M., Herlyn A., 2006: *Zustand, Kosten und Investitionsbedarf der schweizerischen Abwasserentsorgung*. EAWAG, Dübendorf.
- SVGW 2010/2013: *Statistische Erhebungen der Wasserversorgungen in der Schweiz-Betriebsjahre 2010 und 2013*. Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches 2010. Zürich.
- Rubli Stefan, 2013: *Dynamische Modellierung der Asphalt- sowie PAK-Lager und Flüsse in den Strassen der Region St.Gallen, Thurgau, Zürich und Fürstentum Liechtenstein*. Umweltämter der St.Gallen, Thurgau, Zürich und des Fürstentums Liechtenstein.
- Wägeli H.G., 2010: *Schienennetz Schweiz - Bahnprofil Schweiz CH+*. AS Verlag & Buchkonzept AG. Zürich.

6 Anhang

- 6.1 Datengrundlagen zu Modellrechnung der Materiallager und Bauabfälle
- 6.2 Zuordnung Materialien und Materialgruppen
- 6.3 Kantonale Daten

6.1 Datengrundlagen zu Modellrechnung der Materiallager und Bauabfälle

Grundlagen zur Berechnung Materiallager/Bauabfallmengen Strassennetz

Strassenypen	Spuren Anzahl	Strassen- breite m	Schichtstärken		Materialdichten			Anteile an Strassenlänge	
			Deck- und Tragschicht m	Fundation m	Kies/Sand/ Strassen- aufbruch t/m ³	Asphalt/ Ausbau- asphalt t/m ³	Beton/ Beton- abbruch t/m ³	Asphalt %	Beton %
Nationalstrassen	6/7-spurig	35	0.22	0.55	2.2	2.2	2.4	90	10
Nationalstrassen	4-spurig	23	0.22	0.55	2.2	2.2	2.4	90	10
Nationalstrassen	2/3-spurig	14	0.22	0.55	2.2	2.2	2.4	90	10
Gemischverkehr	1	10	0.20	0.50	2.2	2.2	2.4	95	5
Kantonsstrassen	1	7	0.15	0.50	2.2	2.2	2.4	95	5
Gemeinde-/Privatstrassen	1	6	0.12	0.45	2.2	2.2	2.4	100	0
übrige Verkehrswege	1	3.3	0.08	0.30	2.2	2.2	2.4	11	1
Geh- und Radwege	1	1.5	0.05	0.35	2.2	2.2	2.4	100	0
Parkplätze			0.05	0.35	2.2	2.2	2.4	100	0

Abbildung 12: Grundlagen zur Modellrechnung des Materiallagers in Strassen

Annahmen	Wert Einheit	Bemerkung
Brücken Autobahn	2 %	der Nationalstrassenlänge, 30 m Breite
Unter-/Überführungen	1.1 Stk./km	von der Strecke Nationalstrasse
Brücken andere Strassen	0.2 %	der Strassenflächen (Kantons und Gemeindestrassen)
Brücken Autobahn	30 m	Breite
Unter-/Überführungen	500 m ² /Stk	Fläche
Brücken andere Strassen	10 m	Breite
Spezifischer Betonbedarf	Wert Einheit	Bemerkung
Brücken Autobahn	4.0 t/m ²	spez. Materialbedarf pro m ² Brückenfläche
Unter-/Überführungen	2.4 t/m ²	spez. Materialbedarf por m ² Unter-/Überführungen
Brücken andere Strassen	3.4 t/m ²	spez. Materialbedarf pro m ² Brückenfläche

Abbildung 13: Grundlagen zur Modellrechnung des Materiallagers in Kunstbauten des Strassennetzwerks

Erneuerungsraten	
Strassen	Prozent
Strassen Asphaltbelag	1.5
Strassen Betonbelag	1.5
Strassenfundation Kies/Sand	0.45

Kunstbauten	Prozent
Brücken	1
Tunnel	1
Unter-/Überführungen	1
Stützmauern	1
Durchschnittl. Erneuerungsrate	1

Abbildung 14: Erneuerungsraten Strassen und Kunstbauten im Strassennetzwerk

Grundlagen zur Berechnung Materiallager/Bauabfallmengen Schienennetz

	Materiallager					Bauabfallmengen			
	Gleislängen	spezifisches Schotterlager	Schottelager	spezifisches Kies-/Sandlager	Kies-/Sandlager	spezifischer Schotter-output	Gleis-schotter	spezifischer Kies-/Sand-Output	Kies- /Sand-bzw. Gleisaushub
	km	t/km	t	t/km	t	t/km	t	t/km	t
Schweiz	12'132		36'396'673		48'528'898		454'958		404'407
Zürich	1'440	3'000	4'319'635	4'000	5'759'513	37.5	53'995	33	47'996
Bern	1'915	3'000	5'745'916	4'000	7'661'222	37.5	71'824	33	63'844
Luzern	472	3'000	1'414'790	4'000	1'886'387	37.5	17'685	33	15'720
Uri	227	3'000	679'938	4'000	906'585	37.5	8'499	33	7'555
Schwyz	252	3'000	755'026	4'000	1'006'701	37.5	9'438	33	8'389
Obwalden	100	3'000	299'969	4'000	399'958	37.5	3'750	33	3'333
Nidwalden	36	3'000	106'563	4'000	142'084	37.5	1'332	33	1'184
Glarus	119	3'000	356'756	4'000	475'675	37.5	4'459	33	3'964
Zug	119	3'000	357'567	4'000	476'756	37.5	4'470	33	3'973
Fribourg	533	3'000	1'599'293	4'000	2'132'391	37.5	19'991	33	17'770
Solothurn	340	3'000	1'019'345	4'000	1'359'127	37.5	12'742	33	11'326
Basel-Stadt	39	3'000	117'297	4'000	156'395	37.5	1'466	33	1'303
Basel-Landschaft	200	3'000	600'763	4'000	801'018	37.5	7'510	33	6'675
Schaffhausen	34	3'000	102'140	4'000	136'187	37.5	1'277	33	1'135
Appenzell A.Rh.	72	3'000	215'026	4'000	286'701	37.5	2'688	33	2'389
Appenzell I.Rh.	32	3'000	97'464	4'000	129'953	37.5	1'218	33	1'083
St. Gallen	783	3'000	2'347'682	4'000	3'130'242	37.5	29'346	33	26'085
Graubünden	702	3'000	2'106'337	4'000	2'808'449	37.5	26'329	33	23'404
Aargau	946	3'000	2'838'295	4'000	3'784'394	37.5	35'479	33	31'537
Thurgau	533	3'000	1'600'389	4'000	2'133'852	37.5	20'005	33	17'782
Ticino	562	3'000	1'684'983	4'000	2'246'645	37.5	21'062	33	18'722
Vaud	1'155	3'000	3'464'081	4'000	4'618'775	37.5	43'301	33	38'490
Valais	729	3'000	2'186'629	4'000	2'915'505	37.5	27'333	33	24'296
Neuchâtel	409	3'000	1'227'145	4'000	1'636'193	37.5	15'339	33	13'635
Genève	119	3'000	357'776	4'000	477'034	37.5	4'472	33	3'975
Jura	265	3'000	795'867	4'000	1'061'156	37.5	9'948	33	8'843

Abbildung 15: Grundlagen zur Modellrechnung des Materiallagers und der Bauabfälle Schienennetz

Die detaillierten Grundlagen für die Modellrechnung der Materiallager und Bauabfallmengen der Tunnel- und Kunstbauten liegen dem BAFU vor.

Grundlagen zur Berechnung Materiallager/Bauabfallmengen der weiteren Infrastrukturalternativen und -bauten

Die Datengrundlagen, Modelle und Abschätzungsmethoden zur Berechnung der Materiallager und Bauabfallmengen der weiteren Infrastrukturalternativen und -bauten liegen dem BAFU vor und sind in den entsprechenden Exceldateien beschrieben.

6.2 Zuordnung Materialien und Materialgruppen

Bauabfallgruppe BAUFU	Erfasste Materialien im Materiallager
Strassenaufbruch	Kies, Sand Strassenaufbruch
Ausbauasphalt	Asphalt
Betonabbruch	Beton
Mischabbruch	Bruch-, Backstein-Mauerwerk Kunst-, Naturstein
Mineralischen Restfraktion	Keramik, Steinzeug, zementgebundene Formsteine, Gleisaushub

6.3 Kantonale Daten

Längen Infrastrukturnetzwerke

Streckenlänge Strassen in Meter pro Einwohner

Kanton	National- strassen	Kantons- strassen	Gemeinde- strassen	Übrige Strassen
Zürich	0.11	1.2	4.3	6.4
Bern	0.19	2.1	9.3	24.4
Luzern	0.15	1.3	15.7	13.3
Uri	1.49	4.2	4.3	12.2
Schwyz	0.30	1.4	4.5	8.6
Obwalden	0.66	2.3	12.1	24.6
Nidwalden	0.62	1.8	3.5	6.9
Glarus	0.42	3.3	7.0	14.9
Zug	0.15	1.2	3.6	7.1
Fribourg	0.28	2.2	10.3	14.0
Solothurn	0.18	2.3	7.6	14.2
Basel-Stadt	0.05	1.6	0.3	0.5
Basel-Landschaft	0.11	1.7	6.1	9.9
Schaffhausen	0.24	2.8	14.4	20.6
Appenzell Ausserrhoden	0.00	4.2	3.9	5.9
Appenzell Innerrhoden	0.00	3.2	6.0	16.9
St.Gallen	0.28	1.4	4.7	11.3
Graubünden	0.70	7.3	11.6	20.7
Aargau	0.16	1.8	7.5	13.8
Thurgau	0.16	3.1	10.0	14.3
Ticino	0.39	3.0	6.0	8.6
Vaud	0.27	2.9	7.9	11.1
Valais	0.23	5.7	7.6	10.6
Neuchatel	0.20	2.7	8.5	14.8
Geneve	0.06	0.6	2.6	2.9
Jura	0.47	6.2	18.0	37.1
gesamte Schweiz	0.21	2.2	7.2	12.2

Streckenlänge Schienen in Meter pro Einwohner

Kanton	Gleislängen	Tunnellängen
Zürich	1.12	0.04
Bern	2.00	0.15
Luzern	1.31	0.02
Uri	6.49	0.61
Schwyz	1.81	0.05
Obwalden	2.96	0.04
Nidwalden	0.89	0.00
Glarus	3.12	0.11
Zug	1.11	0.01
Fribourg	2.06	0.01
Solothurn	1.37	0.03
Basel-Stadt	0.21	0.01
Basel-Landschaft	0.75	0.04
Schaffhausen	0.46	0.00
Appenzell Ausserrhoden	1.37	0.00
Appenzell Innerrhoden	2.12	0.00
St.Gallen	1.69	0.02
Graubünden	3.74	0.31
Aargau	1.65	0.03
Thurgau	2.26	0.00
Ticino	1.73	0.08
Vaud	1.74	0.01
Valais	2.47	0.31
Neuchatel	2.42	0.07
Geneve	0.28	0.01
Jura	3.83	0.21
gesamte Schweiz	1.62	0.07

Leitungslängen weitere Infrastruktur in Meter pro Einwohner

Kanton	Abwasser- entsorgung	Wasser- versorgung	Gas- versorgung	Strom- versorgung
Zürich	5.4	5.9	2.2	10.9
Bern	6.8	7.3	1.4	12.9
Luzern	5.3	6.5	1.0	12.3
Uri	9.8	13.5	0.0	19.6
Schwyz	7.3	11.5	1.4	11.1
Obwalden	12.3	10.2	0.0	22.4
Nidwalden	12.5	8.5	0.0	19.0
Glarus	9.0	10.0	3.4	22.8
Zug	5.2	7.5	1.9	10.0
Fribourg	7.0	7.4	1.1	11.7
Solothurn	6.4	9.6	2.3	12.5
Basel-Stadt	3.3	4.2	4.8	7.6
Basel-Landschaft	5.0	6.0	1.4	12.9
Schaffhausen	5.2	6.5	3.5	14.6
Appenzell Ausserrhoden	7.1	8.1	1.9	18.4
Appenzell Innerrhoden	10.9	23.4	0.0	19.0
St.Gallen	6.2	8.7	4.4	13.4
Graubünden	9.3	9.8	1.0	28.0
Aargau	7.3	9.3	2.7	12.7
Thurgau	7.2	10.7	5.1	12.0
Ticino	7.0	7.7	1.5	17.4
Vaud	5.2	5.9	4.6	10.7
Valais	5.3	6.1	2.2	26.3
Neuchatel	6.0	7.4	3.1	13.0
Geneve	3.1	3.5	1.3	6.7
Jura	9.0	10.2	1.0	22.8
gesamte Schweiz	6.1	7.2	2.4	13.1

Materiallager Strassen, Schiene und Infrastrukturnetze

Materiallager Strassen in Tonnen pro Einwohner

Kanton	National- strassen	Kantons- strassen	Gemeinde- strassen	Übrige Strassen
Zürich	4.5	11.6	32.4	10.3
Bern	6.9	21.3	70.3	42.0
Luzern	6.0	13.4	55.7	23.9
Uri	51.2	49.4	32.5	24.5
Schwyz	11.5	14.7	33.7	15.7
Obwalden	16.5	28.4	91.2	45.8
Nidwalden	23.0	17.7	26.6	12.6
Glarus	16.4	32.6	52.9	28.1
Zug	5.9	11.6	27.5	12.6
Fribourg	11.1	21.6	77.2	22.1
Solothurn	6.8	23.5	57.4	25.0
Basel-Stadt	2.3	16.1	2.5	0.7
Basel-Landschaft	4.9	17.1	45.7	16.8
Schaffhausen	14.0	28.5	108.0	43.4
Appenzell Ausserrhoden	0.0	42.4	29.6	9.8
Appenzell Innerrhoden	0.0	31.8	45.2	34.1
St.Gallen	11.1	13.9	35.7	20.9
Graubünden	20.1	75.3	87.5	37.0
Aargau	6.5	18.2	56.1	24.2
Thurgau	6.4	30.7	75.6	22.9
Ticino	14.6	30.5	45.3	14.7
Vaud	10.5	28.6	59.3	17.6
Valais	8.3	58.8	56.9	17.8
Neuchatel	7.7	27.3	63.7	25.7
Geneve	2.3	5.7	19.2	4.1
Jura	11.1	61.9	135.3	67.3
gesamte Schweiz	7.9	22.3	51.0	21.0

Materiallager Schienen in Tonnen pro Einwohner

Kanton	Gleise	Tunnel	Kunstbauten
Zürich	7.8	1.1	3.2
Bern	14.0	1.8	2.9
Luzern	9.2	0.3	3.3
Uri	45.4	1.4	2.4
Schwyz	12.7	1.2	2.5
Obwalden	20.7	0.1	3.3
Nidwalden	6.2	0.0	3.3
Glarus	21.9	1.2	3.3
Zug	7.8	0.0	3.3
Fribourg	14.4	0.2	3.3
Solothurn	9.6	0.9	2.8
Basel-Stadt	1.5	2.1	2.1
Basel-Landschaft	5.2	1.7	2.4
Schaffhausen	3.2	0.3	3.3
Appenzell Ausserrhoden	9.6	0.0	3.3
Appenzell Innerrhoden	14.9	0.0	3.3
St.Gallen	11.9	0.8	2.7
Graubünden	26.2	2.7	1.8
Aargau	11.5	0.7	3.3
Thurgau	15.8	0.0	3.3
Ticino	12.1	0.7	2.9
Vaud	12.2	0.3	3.3
Valais	17.3	3.7	1.4
Neuchatel	17.0	0.6	3.1
Geneve	1.9	1.4	2.6
Jura	26.8	1.6	2.3
gesamte Schweiz	11.3	1.4	2.7

Materiallager nach Materialgruppen in Millionen Tonnen

Kanton	Kies und Sand	Asphaltbelag	Beton	Mauerwerk	Mineralsiche Restfraktionen	Total
Zürich	121.7	17.0	21.7	1.3	0.90	162.6
Bern	167.6	25.1	33.3	2.6	0.76	229.3
Luzern	47.5	7.6	8.3	0.8	0.27	64.5
Uri	8.1	1.3	5.0	0.4	0.04	14.8
Schwyz	18.0	2.4	5.1	0.6	0.11	26.1
Obwalden	8.3	1.3	3.1	0.2	0.05	12.9
Nidwalden	5.1	0.7	2.9	0.1	0.05	8.9
Glarus	7.1	1.0	4.8	0.3	0.05	13.2
Zug	10.5	1.4	1.7	0.2	0.07	13.8
Fribourg	46.9	8.0	9.9	0.8	0.21	65.8
Solothurn	37.4	5.7	5.9	0.4	0.19	49.5
Basel-Stadt	7.6	0.9	2.0	0.0	0.09	10.6
Basel-Landschaft	29.5	4.6	4.4	0.3	0.20	39.0
Schaffhausen	15.9	2.8	1.6	0.1	0.06	20.4
Appenzell Ausserrhoden	6.2	0.9	1.2	0.2	0.05	8.6
Appenzell Innerrhoden	2.9	0.3	0.7	0.1	0.02	3.9
St.Gallen	59.3	7.6	13.3	1.3	0.37	81.8
Graubünden	50.2	9.0	33.7	2.4	0.27	95.5
Aargau	89.1	12.7	12.8	0.8	0.49	115.8
Thurgau	44.7	7.0	5.9	0.5	0.19	58.4
Ticino	47.9	8.1	25.3	1.3	0.33	82.8
Vaud	104.7	18.0	17.1	1.2	0.46	141.4
Valais	55.0	10.2	71.7	1.9	0.40	139.2
Neuchatel	27.6	4.3	5.9	0.3	0.13	38.1
Geneve	22.5	3.3	4.5	0.1	0.19	30.7
Jura	21.6	3.6	4.7	0.3	0.09	30.2
gesamte Schweiz	1'062	165	306	18	6.01	1'558

Bauabfallmengen

Bauabfallmengen nach Materialgruppen in Tonnen inklusive Verwertung vor Ort

Kanton	Strassen- aufbruch	Ausbau asphalt	Beton- abbruch	Misch- abbruch	mineralische Restfraktion	Total
Zürich	492'093	254'771	120'604	20'249	14'139	901'857
Bern	732'865	375'910	143'259	35'853	11'859	1'299'747
Luzern	200'450	114'197	42'298	10'773	4'333	372'051
Uri	39'972	18'891	29'781	4'786	606	94'036
Schwyz	71'633	35'717	20'076	6'928	1'575	135'930
Obwalden	35'624	19'739	19'205	2'730	711	78'009
Nidwalden	18'478	11'042	20'645	956	705	51'826
Glarus	31'139	15'631	18'827	3'094	766	69'457
Zug	41'479	20'294	7'832	2'261	1'184	73'049
Fribourg	203'196	120'128	42'813	10'130	3'233	379'501
Solothurn	152'848	85'309	32'358	5'435	2'976	278'927
Basel-Stadt	25'584	13'983	14'365	633	1'420	55'985
Basel-Landschaft	118'394	69'604	23'926	3'509	3'223	218'656
Schaffhausen	66'111	42'071	8'199	732	1'022	118'135
Appenzell Ausserrhoden	24'943	13'913	5'325	2'002	836	47'020
Appenzell Innerrhoden	10'523	4'839	2'319	1'138	262	19'080
St.Gallen	244'669	113'708	61'030	17'076	5'960	442'442
Graubünden	227'653	134'284	85'943	27'214	4'462	479'556
Aargau	364'933	189'752	64'077	12'736	7'486	638'984
Thurgau	189'052	105'176	27'015	7'803	2'894	331'940
Ticino	201'976	121'646	74'390	15'483	5'412	418'906
Vaud	455'312	269'289	75'474	17'479	7'324	824'878
Valais	248'882	152'851	102'642	22'454	7'052	533'880
Neuchâtel	123'527	64'629	35'550	4'594	2'075	230'376
Geneve	84'311	49'858	25'359	1'937	3'118	164'583
Jura	98'020	54'477	28'067	4'227	1'384	186'175
gesamte Schweiz	4'503'664	2'471'710	1'131'381	242'212	96'018	8'444'986

Materiallager weitere Infrastruktur in Tonnen pro Einwohner

Kanton	Abwasser- entsorgung	Wasser- versorgung	Gas- versorgung	Strom- versorgung	weitere Infra- strukturbauten
Zürich	20.4	10.7	2.4	3.3	2.8
Bern	25.6	13.3	1.6	3.9	16.0
Luzern	20.1	11.9	1.2	3.7	9.4
Uri	36.6	24.2	0.0	5.6	64.3
Schwyz	27.3	21.2	1.5	3.4	19.7
Obwalden	46.1	18.5	0.0	6.4	31.6
Nidwalden	46.6	15.2	0.0	5.4	14.2
Glarus	33.7	18.4	3.9	6.5	78.7
Zug	19.6	13.8	2.1	3.3	5.1
Fribourg	26.2	13.3	1.3	3.5	16.8
Solothurn	24.0	17.3	2.6	3.8	6.4
Basel-Stadt	12.5	6.1	5.4	2.5	0.5
Basel-Landschaft	19.0	11.0	3.7	3.9	4.0
Schaffhausen	19.7	11.9	3.9	4.4	7.5
Appenzell Ausserrhoden	26.7	14.8	2.1	5.2	12.2
Appenzell Innerrhoden	40.7	42.9	0.0	5.4	27.9
St.Gallen	23.4	16.0	4.9	4.0	13.1
Graubünden	34.8	18.1	1.1	7.8	145.8
Aargau	27.5	16.9	3.0	3.8	4.9
Thurgau	27.1	19.6	5.7	3.6	8.4
Ticino	26.4	14.2	1.7	5.3	53.7
Vaud	19.7	10.7	5.1	3.2	10.5
Valais	20.1	11.1	2.5	7.5	200.2
Neuchatel	22.6	13.2	3.5	3.9	9.1
Geneve	11.7	6.4	1.5	2.2	1.9
Jura	33.9	18.8	1.2	6.5	23.0
gesamte Schweiz	22.8	13.1	2.7	3.9	22.2

