



Kies-, Aushub- und Rückbaumateriallogistik

Entwicklung eines Modells zur
Optimierung der Transportlogistik

Schlussbericht

IMPRESSUM

Auftraggeberin:

Stadt Zürich
Amt für Hochbauten (AHB)
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ)

Kanton Zürich
AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Bearbeitung und Modellentwicklung:

Dr. Stefan Rubli
Energie- und Ressourcen-Management GmbH
rubli@energie-ressourcen.ch

Modellentwicklung und –programmierung:

Martin Schneider
Tinu Schneider Datenanalyse

Projektleitung:

Dr. Heinrich Gugerli,
Amt für Hochbauten, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

Begleitgruppe:

Dr. Heinrich Gugerli (Amt für Hochbauten)
Dr. Karl Tschanz (Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich)
Christian Sieber (AWEL)
Dr. Willi Dietrich (Tiefbauamt Stadt Zürich)
Matthias Hofer (Ernst Basler und Partner)

Layout Titelblatt: Stefan Rubli

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen

Zürich, April 2014

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG.....	5
1 EINLEITUNG	8
1.1 Ausgangslage	8
1.2 Übersicht zum Personen- und Güterverkehr in der Stadt Zürich.....	9
1.3 Fragestellung und Zielsetzung.....	12
2 VORGEHEN UND MODELLGRUNDLAGEN.....	13
2.1 Modellgrundlagen.....	13
2.1.1 Definition der Stadtregionen.....	13
2.1.2 Berechnung der Materialflüsse.....	14
2.1.3 Bestimmung der Transportdistanzen.....	15
2.1.4 Indikatoren Umweltbelastung.....	19
2.2 Modellaufbau.....	20
2.2.1 Grundlagen zur Parametrisierung der Szenarien	22
2.2.2 Berechnungen im Modell mittels Input-Output-Tabellen.....	23
2.3 Definition der Szenarien	24
3 RESULTATE.....	26
3.1 Materialflüsse	26
3.1.1 Materialflüsse Gesamtsystem	26
3.1.2 Materialflüsse in Stadtgebieten	28
3.2 Transportleistungen.....	30
3.3 Umweltbelastungen.....	32
3.4 Vergleich der Umweltbelastungen nach Szenarien.....	34
3.5 Sensitivitätsanalysen.....	36
4 DISKUSSION.....	39
4.1 Umweltbelastung und weitere relevante Aspekte beim Szenarienvergleich.....	39
4.2 Materialumsatz und Flächenbedarf der Zwischenlagerplätze	42
4.3 Die wichtigsten Erkenntnisse.....	44
5 AUSBLICK.....	46
6 LITERATUR.....	47
ANHANG	49
A.1: Input-Output-Matrix mit Distanzen (Angaben in km).....	49
A.2: Modellparameter für die vier Szenarien	50
A.3: Parametertabelle: Anteil Rohmaterial im ZL in Aufbereitung ZL oder nach Bahnterminal ..	51
A.4: Parametertabelle: Anteil aufbereitetes Material Betonproduktion ZL.....	52
A.5: Parametertabelle in der Modellkonstanten festgelegt werden können.	53
A.6: Beispiel einer Input-Output-Tabelle.....	54

Glossar

GJ	Gigajoule
I-O-Tabelle	Input-Output-Tabelle
km	Kilometer
m ³	Kubikmeter (alle Angaben in Festmass)
PE	Primärenergie
t	Tonnen
THG	Treibhausgasemissionen
tkm	Tonnenkilometer
UBP	Umweltbelastungspunkte

Zusammenfassung

Ausgangslage

Der seit einigen Jahren herrschende Trend der anwachsenden Wohnbevölkerung in der Stadt Zürich dürfte sich auch künftig fortsetzen. Es ist somit mit einer weiterhin regen Bautätigkeit zu rechnen. Der mit der Bautätigkeit einhergehende Materialkonsum verbleibt damit auf hohem Niveau. So bewegt sich der Kiesbedarf in der Stadt Zürich im Bereich von rund 1 Million Kubikmetern pro Jahr. Auf der anderen Seite fallen jährlich rund 750'000 Kubikmeter Aushubmaterial und 500'000 Kubikmeter mineralische Rückbaumaterialien an. Da die Stadt Zürich über keine Kiesgruben und Deponien verfügt, müssen diese Materialien über relativ grosse Distanzen verschoben werden, was entsprechende Transporte und die damit verbundenen Umwelt- und Lärmbelastungen auslöst. Aus diesem Grund hat der Kantonsrat im kantonalen Richtplan einen Bahnanteil für den Transport von Kies und Aushub von 35 Prozent festgesetzt. Diese Vorgabe wird in der Stadt Zürich heute bei Weitem nicht erreicht. Die Quote liegt im tiefen einstelligen Prozentbereich. Deshalb sind in der Revisionsvorlage zum regionalen Richtplan Stadt Zürich (Fassung für öffentliche Auflage, 1.9.2013) folgende Zielsetzungen und Massnahmen zum Umgang mit und dem Transport von Aushub und Baurestmassen zu finden:

- Konkretisierung von geeigneten Standorten für Güterumschlag Bahn/Strasse oder Strasse/Strasse und Einbindung in Nutzungsplanung. Innovative Arten von Umschlag, Sammlung und Verteilung von Gütern sollen hierbei geprüft werden.
- Durch Verwendung von Sekundärrohstoffen aus Rückbauten. Die Aufbereitung erfolgt im Idealfall vor Ort und die Wiederverwendung in der näheren Umgebung.
- Förderung von vorbildlichen Konzepten im Umgang mit mineralischen Baustoffen.

Da der Bahnanteil von 35 Prozent im Kanton Zürich aus verschiedenen Gründen erst mittelfristig erreicht werden kann, stellt sich die Frage, ob es weitere Möglichkeiten gibt, die Transporte sowie die damit verbundenen Umwelt- und Lärmbelastungen in der Stadt Zürich und im Umland zu minimieren. So könnten die oben erwähnten Materialien beispielsweise an verschiedenen Standorten in der Stadt Zürich zwischengelagert, aufbereitet und allenfalls gar mobilen Betonanlagen zugeführt werden. Damit könnten die Transportleistungen vermutlich reduziert werden. Um zu untersuchen, welche Potenziale verschiedene Logistikvarianten bieten, wurde ein Materialfluss- und Logistikmodell entwickelt. Mit diesem lassen sich die Materialflüsse, Transportleistungen sowie die Umweltbelastungen in Abhängigkeit von den in Szenarien definierten Logistikstrategien quantifizieren.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden mit dem Modell folgende vier Szenarien untersucht:

1. Szenario HEUTE: Dieses Szenario entspricht in Bezug auf Materialflüsse und Transportsituation dem Istzustand.
2. Szenario ZWISCHENLAGER: 50% der im Szenario HEUTE dem Umland zugeführte Materialflüsse, werden in Zwischenlager in der Stadt Zürich verlagert.
3. Szenario BAHNTERMINAL: 35% der Kies- und Aushubflüsse werden über Bahnterminals auf dem Stadtgebiet geführt.

4. Szenario BT + ZW: Kombination der Szenarien 2 und 3.

Bemerkung: Bei den in den Szenarien 2 bis 4 erwähnten Zwischenlager und Bahnterminals handelt es sich um hypothetische Standorte.

Resultate und Erkenntnisse

Aus den Szenariorechnungen lassen sich hinsichtlich des Güterverkehrs mit Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialien folgende Schlüsse ableiten:

- Mit einer Optimierung der Transportlogistik lässt sich die Umweltbelastung im Vergleich zu Heute (Szenario HEUTE) um maximal 15 – 20 Prozent reduzieren.
- Das Umland profitiert deutlich stärker von der Reduktion der Umweltbelastung durch Optimierung der Transportlogistik als die Stadt Zürich. Im optimalen Fall lässt sich die LKW-Fahrleistung auf dem Gebiet der Stadt Zürich um bis zu 32 Prozent, im Umland um bis zu 41 Prozent - oder 100'000 LKW-Fahrten - reduzieren.
- Ein rein auf die Bereitstellung zusätzlicher Bahnverladestationen ausgerichtetes Szenario (Szenario BAHNTERMINAL) führt zu einer Reduktion von Schwerverkehr, aber kaum zu einer Reduktion der Umweltbelastung und hat lediglich eine geringfügige Reduktion des Primärenergieverbrauchs zur Folge. Gründe dafür sind die zusätzlich notwendigen Umladeprozesse und längere Transportstrecken der Bahn.
- Eine ausschliessliche Fokussierung auf die Gesamtumweltbelastung nach UBP ist allerdings zu einseitig, da sie wichtige Aspekte der LKW-Transporte wie Verkehrssicherheit oder Lärmemissionen in Wohngebieten nicht berücksichtigt.
- Die Erhöhung des Auslastungsgrades der Lastwagentransporte von 50 Prozent (1 Leerfahrt pro Transport) auf ein realisierbares Niveau (70-75%) beinhaltet ein etwa gleich grosses Umweltentlastungspotenzial wie die Optimierung der Transportlogistik. Dieses Potential ist gemäss Aussagen von Transporteuren jedoch heute bereits ausgeschöpft.
- 2012 genügten bereits rund 90 Prozent der Transportfahrzeuge der Emissionsnorm Euro V. Das durch den Einsatz von Euro VI-Fahrzeugen realisierbare Umweltentlastungspotential ist gering (Reduktion der Umweltbelastungspunkte um ca. 4%).
- Mit einer theoretischen vollumfänglichen Vor-Ort Verwertung der Aushub- oder Rückbaumaterialien liesse sich die Umweltbelastung um maximal 30 Prozent reduzieren. Die relativ geringe Reduktion ist dadurch begründet, dass jeweils auch Kies zugeliefert und Rückbaumaterial abgeführt wird und Material auf der Baustelle umgeladen werden muss.

Die Szenariorechnungen zeigen, dass sich die Umweltbelastungen aus dem Transport von Aushub, Rückbaumaterialien und Kies durch eine Optimierung der Transportlogistik (Zwischenlager/Bahnterminals) grundsätzlich reduzieren lassen. Das Stadtgebiet würde insgesamt deutlich weniger entlastet als das Umland. Mit zu beachten sind zudem die Auswirkungen am Standort allfälliger Zwischenlager und Bahnterminals, bei denen mit einer Konzentration von Lastwagenfahrten zu rechnen ist.

Das vorliegende Modell ermöglicht es, Grundlagen für die Entscheidungsfindung betreffend ökologischer und energetischer Optimierung des Baustellenverkehrs auf dem Stadtgebiet und Umland bereitzustellen. Im Vordergrund stehen dabei folgende Fragestellungen:

- Definition der minimal notwendigen raumplanerischen Massnahmen, die zur Erreichung der kantonalen Zielsetzungen „Bahnanteils von 35 Prozent“ beim Massengütertransport notwendig sind.
- Evaluation, Festlegung und Sicherung optimaler Standorte für Bahnverladestationen auf Stufe der kantonalen und regionalen Richtplanung.
- Definition der minimalen Anforderungen an allfällige Standorte für Zwischenlagerung und Aufbereitung von Aushub und Baurestmassen und deren Sicherung (Zwischennutzung, Dauernutzung).

Weiteres Vorgehen

Die Baudirektion des Kantons Zürich ist daran, im südlichen Teil des Kantons und in den Städten Zürich und Winterthur Aushübe über 10'000 m³ auf die Bahn zu bringen. Die Realisierung dieses Vorhabens braucht eine Ergänzung des kantonalen Planungs- und Baugesetzes PBG. Der Kantonsrat hat diesem Vorgehen im Rahmen der Gesamtüberprüfung des kantonalen Richtplanes zugestimmt.

Der Stadt Zürich kommt als massgeblicher Ort von Neubau- und Umbautätigkeit im Kanton eine wichtige Rolle bei der Konkretisierung optimaler Transportkonzepte und -ketten zu, auch wenn der vorliegende Bericht aufzeigt dass der ökologische Nutzen optimierter Bautransporte vor allem im Umland der Stadt anfallen dürfte.

Als nächster Schritt gilt es daher, die erarbeiteten Daten für die zürcherische Materiallogistik ökologisch und wirtschaftlich zu optimieren und sie im kantonalen Konzept zum Bahnanteil zu verankern. Dazu soll eine Arbeitsgruppe aus interessierten Unternehmern, Vertretern der Stadt Zürich und allfällig weiteren Betroffenen unter Federführung des Kantons Lösungen konkretisieren und deren Machbarkeit, Auswirkungen und Kostenfolgen darstellen. Das im vorliegenden Bericht angewandte Modell wird dabei für Lösungsvorschläge die ökologischen Auswirkungen auf die Stadt und den Kanton abbilden.

Gleichzeitig treibt der Kanton die PBG-Änderung und die notwendigen Ausführungsbestimmungen voran. Parallel zum PBG-Prozess sollen zudem die Stadt und der Kanton allfällige konkrete Standorte in oder nahe der Stadt geeignet fördern.

Wichtig ist die Parallelschaltung der erwähnten Arbeiten. Erst das Gesamtbild erlaubt dem Kantonsrat und allenfalls dem Volk einen fundierten Entscheid zum PBG bezüglich Bahnanteil für Kies und Aushub.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

In der Stadt Zürich herrscht nach wie vor eine rege Bautätigkeit. Dieser Zustand dürfte sich künftig fortsetzen, weil davon ausgegangen wird, dass die Wohnbevölkerung in der Stadt Zürich bis ins Jahr 2025 je nach Entwicklungsszenario von rund 394'000 Einwohner (Stand Ende 2012) auf 428'000 bis 450'00 Personen anwachsen wird (Schwierz, 2013).

Der mit der Bautätigkeit verbundene Umsatz an mineralischen Baumaterialien ist erheblich. So bewegt sich der Kiesbedarf in der Stadt Zürich im Bereich von rund 1 Million Kubikmetern pro Jahr (Rubli, 2006). Der Anfall an mineralischen Bauabfällen und Aushubmaterial ist ebenfalls beträchtlich: Es fallen jährlich rund 750'000 Kubikmeter Aushubmaterial und 500'000 Kubikmeter mineralische Rückbaumaterialien an. Diese Materialien müssen den Baustellen zugeführt bzw. von diesen abgeführt werden, was entsprechende Transporte sowie entsprechende Umwelt- und Lärmbelastungen auslöst. Insbesondere Kies und Aushubmaterial werden im Kanton Zürich über grosse Distanzen transportiert, da die grossen Kiesabbaugebiete vorwiegend im Norden des Kantons oder im Aargau liegen.

Gemäss dem Kantonalen Richtplan (Kapitel Verkehr, Beschluss Kantonsrat vom 26. März 2007) sorgt der Kanton dafür, dass der Güterumschlag Schiene/Strasse im Rahmen des betrieblich und wirtschaftlich Vertretbaren in der Nähe der Versender und Empfänger erfolgen kann. Der vor- und nachlaufende Verkehr zum Güterumschlag sowie der Güterumschlag selber sind möglichst ohne Belastung von Siedlungsgebieten abzuwickeln. Zu diesem Zweck sind gegebenenfalls weitere geeignete Standorte für dezentrale Umschlaganlagen zu bezeichnen. Der Kanton setzt sich zudem dafür ein, dass Aushub- und Kiestransporte von Grossbaustellen – soweit verhältnismässig – mit der Bahn erfolgen. Er bestimmt den auf der Schiene abzuwickelnden Anteil der Kies- und Aushubtransporte von und zu Gebieten für die Materialgewinnung und Aushubablagerung und sorgt für ein entsprechendes Controlling.

Im Rahmen der 2009 erfolgten Teilrevision des Richtplans wurden diese Vorgaben folgendermassen konkretisiert (Kapitel Landschaft, Versorgung, Entsorgung, Festsetzung Kantonsrat vom 24.11.2009):

- die Transportdistanzen sollen möglichst kurz gehalten werden und
- der Kanton erarbeitet in Zusammenarbeit mit der Branche Massnahmen um einen Bahnanteil von mindestens 35 Prozent der abgebauten und abzulagernden Menge zu erreichen.

Die Vorgabe, einen Bahnanteil von 35% zu erreichen, wird beim Kies bei Betrachtung des Binnenverkehrs im Kanton Zürich alleine nicht erfüllt. Erfolgt die Berechnung allerdings auf Basis der Transportleistung und unter Berücksichtigung der Importe und Exporte, dann wird ein Bahnanteil von über 35% erreicht (Hofer, 2011). Für die Stadt Zürich liegt diese Quote mit lediglich 4% allerdings deutlich tiefer. Bei Berücksichtigung der Bahn- und Schifftransporte liegt dieser Wert bei rund 8%. Beim Aushubmaterial liegt der Bahnanteil sowohl auf kantonaler als auch auf städtischer Ebene sehr tief (bei wenigen Prozenten) und ist stark von den Aushub-Transportkonzepten einzelner Grossbaustellen bestimmt. Somit wird der geforderte Bahnanteil von über 35% bei den Kies- und Aushubmaterialtransporten heute noch nicht

erreicht. Aus diesem Grund erarbeitet das AWEL (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft) zurzeit ein Konzept, um den Bahnanteil künftig mittels weiterer Massnahmen zu erhöhen.

In der Revisionsvorlage zum Regionalen Richtplan Stadt Zürich (Fassung für öffentliche Auflage, 1.9.2013) finden sich folgende Zielsetzungen und Massnahmen zum Umgang mit und dem Transport von Aushub und Baurestmassen:

- Geeignete Standorte für Güterumschlag Bahn/Strasse oder Strasse/Strasse werden in Abstimmung mit der Siedlungsentwicklung konkretisiert und in die Nutzungsplanung überführt. Innovative Arten von Umschlag, Sammlung und Verteilung von Gütern sollen hierbei geprüft werden.
- Durch Verwendung von Sekundärrohstoffen aus Rückbauten wird ein sparsamer Verbrauch von Rohstoffen gewährleistet («urban mining»). Die Aufbereitung erfolgt im Idealfall vor Ort und die Wiederverwendung in der näheren Umgebung.
- Die Stadt Zürich fördert vorbildliche Konzepte im Umgang mit mineralischen Baustoffen und prüft bei Bauvorhaben mit grossen Mengen an Aushub- und Baurestmassen die Integration entsprechender Anforderungen in Planungs- und Baubewilligungsverfahren.

Wie bereits erwähnt, ist der Bahnanteil bei den Kies- und Aushubmaterialtransporten in der Stadt Zürich wesentlich tiefer als auf der kantonalen Ebene. Es stellt sich nun die Frage, ob bzw. wie die Stadt Zürich diesen Anteil allenfalls erhöhen kann und ob es eventuell weitere Möglichkeiten gibt, die mit diesen Transporten verbundenen Umweltbelastungen zu minimieren. So hat sich beispielsweise beim Neubau des Stadions Letzigrund gezeigt, dass sich die Transportleistungen und die Umweltbelastungen bei der Aushub- und Rückbaumaterialentsorgung mittels Aufbereitung des kiesigen Aushubmaterials vor Ort und auf einem naheliegenden Zwischenlagerplatz im Vergleich zu einem Standardentsorgungskonzept massiv reduzieren lassen (Rubli, 2007). Dieser interessante Ansatz könnte möglicherweise auf die gesamte Stadt Zürich übertragen werden. Um zu untersuchen, welche Möglichkeiten und Potenziale eine solche Strategie zur Optimierung der Kies-, Aushub- und Rückbaumateriallogistik in der Stadt Zürich bietet, wird ein Materialfluss- und Logistikmodell entwickelt, auf dessen Basis verschiedene Fragestellungen zur Umweltbelastung in Abhängigkeit von der gewählten Strategie im Bereich der Baumateriallogistik bearbeitet werden können. Um das Thema in eine umfassendere Betrachtungsweise einzubetten, wird im nachfolgenden Kapitel kurz auf die Rolle der Baumaterialtransporte und der damit verbundenen Umweltbelastungen im Vergleich zum Gesamtverkehr in der Stadt Zürich eingegangen.

1.2 Übersicht zum Personen- und Güterverkehr in der Stadt Zürich

Das Bevölkerungswachstum und die zunehmende Dichte in den Städten führen zu einer immer intensiveren Nutzung der Verkehrsinfrastruktur. Die Folge davon sind Kapazitätsengpässe, Staus, volle Züge und steigende Umweltbelastungen, falls keine Massnahmen eingeleitet werden. Die Stadt Zürich hat im Jahr 2011 das Projekt «Zukunft urbane Mobilität» gestartet. Im Rahmen dieses Projekts wurden unter anderem Grundlagen zum Verkehr und insbesondere zum Güterverkehr zusammengetragen (Bruns et.al. 2011). Die nachfolgenden Daten und Grafiken wurden dieser Studie bzw. der entsprechenden Präsentation entnommen.

Der motorisierte Individualverkehr (MIV) in der Stadt Zürich erfolgt in Bezug auf die Fahrzeugkilometer zu 80% mittels des Personenverkehrs aus privater Veranlassung, d.h. für Arbeiten, Ausbildung, Freizeit usw. Der Güterverkehr beansprucht einen Anteil von rund 12%, wobei der Anteil der Lastwagen (>3,5 Tonnen) bei nur rund 5% am gesamten MIV liegt (Abbildung 1). Eine weitere Differenzierung nach Warengruppen bei den LKW-Transporten ergibt für die Warengruppe «Erze, Steine und Erden, Bergbauerzeugnisse» einen Anteil von nur 7% (bezogen auf LKW-Fahrten, siehe Bruns et.al. 2011), was auf den gesamten MIV bezogen nur rund 0,35% ergibt.

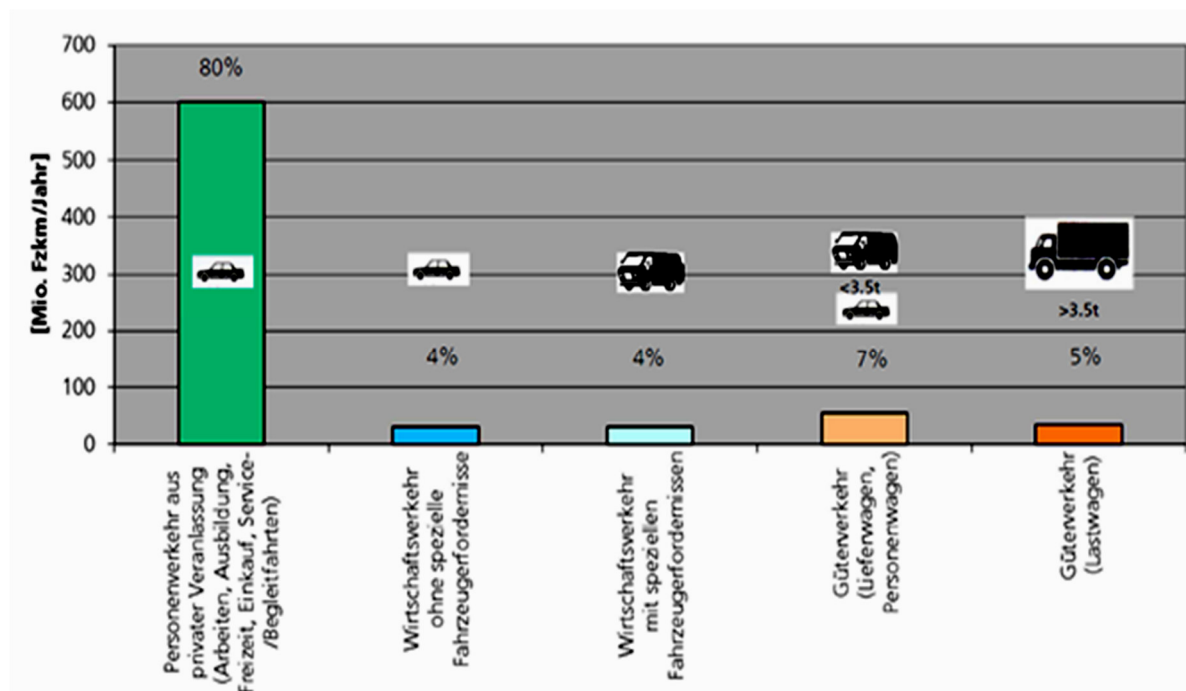


Abbildung 1: Fahrzeugkilometer im motorisierten Individualverkehr (MIV) in der Stadt Zürich im Jahr 2008 (Quelle: Bruns F., Hofer M. und Ruggli P., 2011: Mobilität in der Stadt Zürich: Wer bewegt sich wann weshalb womit? Eine Auslegeordnung. Ernst Basler und Partner AG, Zürich. www.zukunft-urbane-mobilitaet.ch).

Wird nun nicht nur der Binnenverkehr, sondern auch der Ziel- und Quellverkehr in die Betrachtung mit einbezogen, wird erkennbar (Abbildung 2), dass der Binnenverkehr in der Stadt Zürich bezüglich der Anzahl Lastwagenfahrten nur rund ein Viertel der gesamten Fahrten ausmacht. Hier ist zudem zu erwähnen, dass gemäss der Studie der Leerfahrtenanteil bei den LKW-Fahrten bei 31% liegt. Dieser muss insbesondere in Bezug auf die Umweltbelastungen berücksichtigt werden.

Die Daten zeigen, dass der Anteil der Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialtransporte am gesamten MIV in der Stadt Zürich bezüglich den zurückgelegten Fahrzeugkilometern und den Fahrten somit unter 1% liegen dürfte.

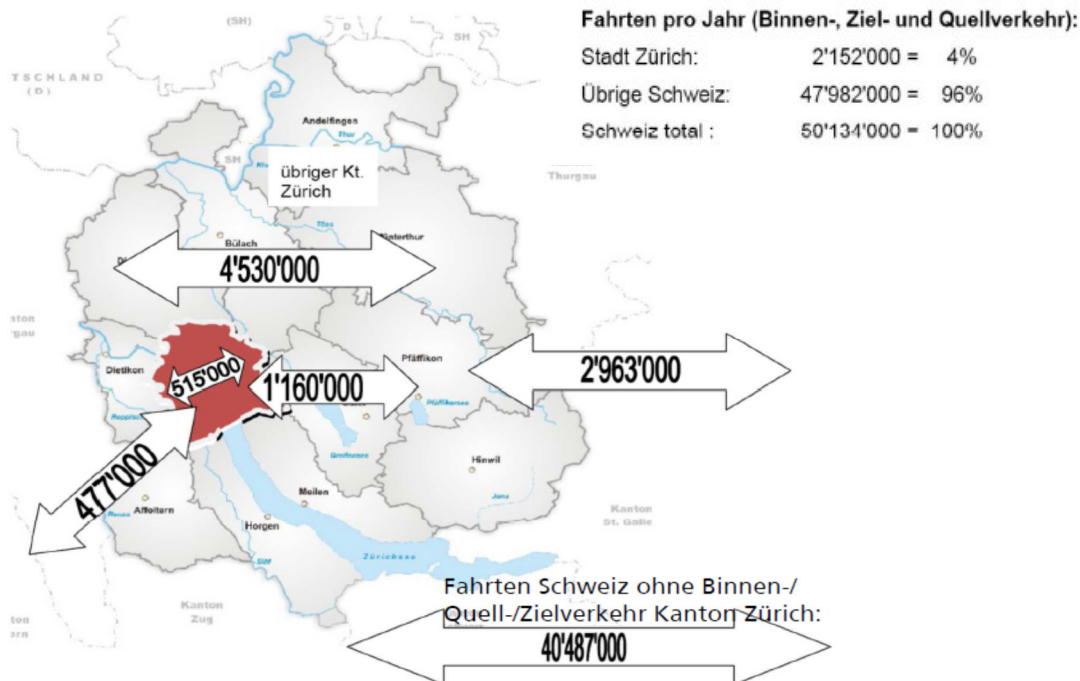


Abbildung 2: Anzahl Lastwagenfahrten in der Stadt und im Kanton Zürich (Quelle: siehe Abbildung 1).

Bei den Umweltbelastungen sieht die Situation aber etwas anders aus. In der Fachpublikation zum Nationalen Forschungsprojekt 54 (NFP 54) «Güterverkehrsplanung in städtischen Gebieten» werden bezüglich den Schadstoff- und Lärmemissionen des Güterverkehrs die folgenden Aspekte thematisiert (Ruesch et. al.2013, S. 35-36):

- Zwischen 1995 und 2010 haben die Verkehrsleistungen im Güterverkehr (+35%) stärker als im Personenverkehr (+22%) zugenommen.
- Die NO_x-Emissionen bzw. Frachten des motorisierten Verkehrs reduzierten sich in der Schweiz zwischen 1990 - 2010 von rund 82'000 t/a auf rund 40'000 t/a (BAFU 2010).
- Da die NO_x-Absenkung beim Güterverkehr langsamer erfolgte als beim Personenverkehr, nahm der Anteil des Strassengüterverkehrs an den Stickoxidemissionen im Zeitraum zwischen 1980 und 2005 von 28% auf 50% zu.
- Die CO₂-Fracht des motorisierten Verkehrs nahm zwischen 1990 - 2010 von rund 13 Mio. t/a auf 14.3 t/a zu. Es wird erwartet, dass sich diese bis 2035 wieder auf rund 13 Mio. t/a reduziert. Bis zum Jahr 2035 wird mit einer Zunahme des Anteils des Güterverkehrs an den CO₂-Emissionen von heute 19% auf 24% gerechnet, weil die Verkehrsleistung des Güterverkehrs stärker als jene des Personenverkehrs zunimmt
- Aufgrund des hohen Anteils an Stop-and-go-Verkehr sowie dem grösserem Anteil an kurzen Fahrten liegen die spezifischen Emissionen des Güterverkehrs in der Stadt höher als im Umland.
- Insgesamt 30% der Lärmkosten werden durch den Güterverkehr verursacht, 70% durch den Personenverkehr (ARE und BAFU 2008, S. 123). Der Anteil der Lieferwagen an den Lärmkosten im Strassenverkehr betrug 8,9% im Jahr 2005, derjenige der Lastwagen 14,3% und derjenige der Sattelschlepper 7,1%.

Somit zeigt sich, dass die Entwicklung einer Strategie zur Optimierung der Kies-, Aushub- und Rückbaumateriallogistik aufgrund des relativ grossen Beitrags des Güterverkehrs an den Umweltbelastungen des Gesamtverkehrs durchaus sinnvoll ist. Das zu entwickelnde Modell soll nun die Basis und das Entwicklungstool zur Erarbeitung von optimalen Strategien zur Optimierung der oben erwähnten Transportlogistik bilden. Die damit verbundenen Fragestellungen und Zielsetzungen werden im nachfolgenden Kapitel differenziert erläutert.

1.3 Fragestellung und Zielsetzung

Im Grundsatz geht es darum, Grundlagen für die Stadt Zürich zu schaffen, damit möglichst optimale Massnahmen definiert werden können, um die durch den Umschlag und Transport von Kies-, Aushub- und Rückbaumaterial ausgelösten Umweltbelastungen sowohl auf der lokalen als auch auf der regionalen Ebene (Kanton) gering zu halten oder im Vergleich zu heute zu reduzieren.

Der Einbezug der Rückbaumaterialien ist in dieser Betrachtung ein wichtiges Element, weil der Einsatz von Sekundärressourcen den nicht nachwachsenden Rohstoff Kies ersetzt. Andererseits können über die Substitution von Kies die Transporte und die damit verbundenen Umweltbelastungen minimiert werden, sofern das Rückbaumaterial in der Stadt Zürich bzw. im näheren Umfeld der Stadt aufbereitet und auf dem Stadtgebiet wieder eingesetzt wird. Gelingt es, einen grossen Teil der anfallenden Rückbaumaterialien wieder in der Stadt Zürich einzusetzen, dürfte dies, so die Hypothese, den grössten Reduktionseffekt in Bezug auf die Umweltbelastung aus den Transporten der oben erwähnten Materialien haben.

Das Modell soll es dem Anwender ermöglichen, die Umweltbelastungen in Bezug auf die gesamte Transportkette mittels diverser Parametereinstellungen szenarioabhängig berechnen zu lassen. Ein Vergleich der Resultate aus den Szenarienrechnungen soll ebenfalls möglich sein.

Das Projekt soll zudem Grundlagen liefern, mit deren Hilfe beurteilt werden kann, wie gross die Anzahl der Zwischenlager sein sollte und in welchen Gebieten der Stadt Zürich diese zu erstellen wären. Aus diesen allgemeinen Modellanforderungen leiten sich nun die nachfolgenden Ziele ab:

- Entwicklung eines Modells zur Abschätzung der durch die Transporte von Kies-, Aushub- und Rückbaumaterial ausgelösten Umweltbelastungen.
- Definition von Szenarien.
- Quantifizierung und Vergleich der Umweltbelastungen in Szenarienrechnungen.
- Aufzeigen der Optimierungspotenziale in Bezug auf die Transportlogistik bzw. der damit verbundenen Umweltbelastungen (Welche Massnahme bringt wieviel? Welche Massnahmen haben nur geringe Effekte?).
- Das Modell kann später dazu verwendet werden, um allfällige Zwischenlagerstandorte bezüglich deren Umweltbelastungspotenzialen zu beurteilen.
- Dokumentation der Methode, der Resultate aus der Modellierung der Szenarien, Erkenntnisse aus der Modellierung, Ableiten von Empfehlungen und Vorschläge zum weiteren Vorgehen.

2 Vorgehen und Modellgrundlagen

Das zu entwickelnde Modell muss eine Vielzahl an Voraussetzungen erfüllen, um die im vorangegangenen Kapitel aufgeführten Ziele zu erreichen. Dies bedingt eine entsprechende Komplexität des Modells. Um die Beschreibung des Modells möglichst nachvollziehbar zu gestalten, werden in diesem Abschnitt zunächst die wichtigsten Modellbausteine kurz beschrieben und zueinander in Bezug gesetzt. Im Kapitel 2.1 erfolgt eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Modellbausteine und im Kapitel 2.2 wird auf den Modellaufbau eingegangen.

Um die Umweltbelastungen aus dem Transport und Umschlag von Kies-, Aushub- und Rückbaumaterial über die gesamte Transportkette abschätzen zu können, müssen die Materialflüsse, die Transportwege bzw. die Transportdistanzen und die von den LKW- und Bahntransporten sowie den Pneucladern ausgehenden spezifischen Umweltbelastungen bekannt sein. Zudem soll das Modell eine räumliche Differenzierung nach Stadtgebieten erlauben. Somit sind die folgenden Modellgrundlagen für die Entwicklung des Modells zu erarbeiten:

Materialflüsse: Abschätzung des jährlichen Kiesbedarfs, des Aushubanfalls und des Anfalls der mineralischen Rückbaustoffe differenziert nach vier Stadtgebieten.

Transportdistanzen: Abschätzung der Transportdistanzen zwischen den Baustellen und den Zwischenlagern in der Stadt Zürich und im Umland sowie den Kiesgruben, Aushubdeponien und Inertstoffdeponien differenziert nach vier Stadtgebieten.

Spezifische Umweltbelastungen: Die spezifischen Umweltbelastungen der LKW- und Bahntransporte sowie der Pneuclader beim Umladen müssen nach Emissionskategorien zusammengetragen werden.

Die totale Umweltbelastung berechnet sich anschliessend im Modell aus dem Produkt der Materialflüsse in Tonnen pro Jahr (t/a), den Transportdistanzen in Kilometern (km) und der Umweltbelastung, ausgedrückt als spezifische Umweltbelastung pro Tonnenkilometer wie beispielsweise Umweltbelastungspunkte pro Tonnenkilometer (UBP/tkm).

2.1 Modellgrundlagen

Eine gute Modellgrundlage ist die Voraussetzung für aussagekräftige Modellresultate. Entsprechend aufwändig gestaltet sich die Erarbeitung der Datengrundlagen für das Modell. Zudem soll eine räumliche Differenzierung nach vier Stadtgebieten erfolgen, was bedeutet, dass sämtliche Datengrundlagen für die einzelnen Stadtregionen erarbeitet werden müssen. Nachfolgend wird zunächst auf die Wahl der Stadtregionen eingegangen.

2.1.1 Definition der Stadtregionen

Eine räumliche Aufteilung der Stadt Zürich und des Umlands (Regionen um die Stadt) in die Gebiete «Zürich Nord», «Zürich Ost», «Zürich Süd» und «Zürich West» ist deshalb sinnvoll, weil beispielsweise kein grosser Materialaustausch zwischen Zürich-West und Zürich-Nord stattfindet und die Versorgung mit und die Entsorgung von Materialien auch eher in die entsprechende Richtungen ins Umland erfolgt. Sollen verschiedene Zwischenlager in der Stadt Zürich erstellt werden, dann sollten diese mit den Materialien aus den entsprechenden

Stadtgebieten versorgt werden, um die Transportdistanzen gering zu halten. Aus diesem Grund werden die folgenden vier Stadtgebiete definiert:

- Gebiet «Zürich Nord»: Kreise 11 und 12
- Gebiet «Zürich Ost»: Kreise 6, 7 und 8
- Gebiet «Zürich Süd»: Kreise 1, 2 und 3
- Gebiet «Zürich West»: Kreise 4, 5, 9 und 10

In den nachfolgenden Texten, Tabellen und Grafiken werden die Stadtgebiete nur noch mit der geographischen Ausrichtung bezeichnet.

Wie erwähnt, findet die Ver- und Entsorgung der Stadtgebiete hauptsächlich über das «Umland» statt. Unter dem Begriff «Umland» sind die an die Stadtgrenzen anliegenden Regionen zusammengefasst. Im Umland befinden sich ebenfalls Zwischenlager, Bahnterminals sowie die Kiesgruben und Deponien. Analog zur Stadt erfolgt auch hier eine Differenzierung nach geografischer Ausrichtung.

2.1.2 Berechnung der Materialflüsse

Die Materialflüsse wurden mittels eines separaten Materialflussmodells berechnet. Beim besagten Modell handelt es sich um das KAR-Modell (Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflussmodell), welches für die Umweltämter der Kantone Aargau, Schaffhausen, Schwyz, Solothurn, St. Gallen, Thurgau, Zug und Zürich entwickelt wurde. Eine detaillierte Beschreibung des Modells bzw. der Methodik ist in der Schlussdokumentation des Projekts enthalten (Rubli, 2012), aus diesem Grund wird hier nur auf die wichtigsten Aspekte der Modellierung eingegangen.

Für das vorliegende Projekt wurde nur der Prozess «Bauwerk» modelliert, um jeweils den Kiesbedarf sowie den Aushub- und Rückbaumaterialanfall für die vier Stadtregionen abzuschätzen. In der Abbildung 3 ist das System des KAR-Modells dargestellt, welches zur Berechnung der drei Materialflüsse «Baustoffe ins Bauwerk Stadt Zürich (Prozess 1 in der Mitte)», «Aushub- und Rückbaumaterialflüsse aus dem Bauwerk» verwendet wird.

Die Modellierung des Bauwerks basiert auf den statistischen Daten zu den Gebäudevolumen (Statistik Stadt Zürich, 2013). Mittels Dichtefaktoren (Tonnen Material pro Kubikmeter Gebäude) können aus den Gebäudevolumen die Materiallager im Gebäudepark abgeschätzt werden. Für die Veränderung im Hochbau werden jeweils die Neubau-, Sanierungs- und Rückbauraten für das Wohnen und Nicht-Wohnen (Dienstleistungs-, Industriegebäude und übrige Gebäude) als Modellparameter eingesetzt. Die verwendeten Abbruchraten stammen wiederum aus der Tabellensammlung von Statistik Stadt Zürich 2013. Die Neubau- und Sanierungsraten wurden aus der Wohnflächenzunahme zwischen den Jahren 2001 bis 2009 abgeleitet (Ray, 2011). Die Materiallager in den Infrastruktursystemen werden aus den bekannten Längen und Querschnittsprofilen der Strassen, Bahntrassen, Trinkwasser-, Abwasser-, Gas- und Stromleitungen abgeschätzt.

Die Berechnung der Materialflüsse im Tiefbaubereich erfolgt über die Erneuerungsraten der einzelnen Baustoffe. Weitere Modellparameter im Tiefbaubereich, wie die Neubaurate sowie Gesteinskörnungsbedarf für Grossprojekte, wurden ebenfalls berücksichtigt. Der Anfall von Aushub wird aus der Neubau- und Ersatzneubautätigkeit mittels spezifischer Faktoren berechnet (Anfall Aushub pro Kubikmeter gebautes Gebäudevolumen).

Vorgehen und Modellgrundlagen

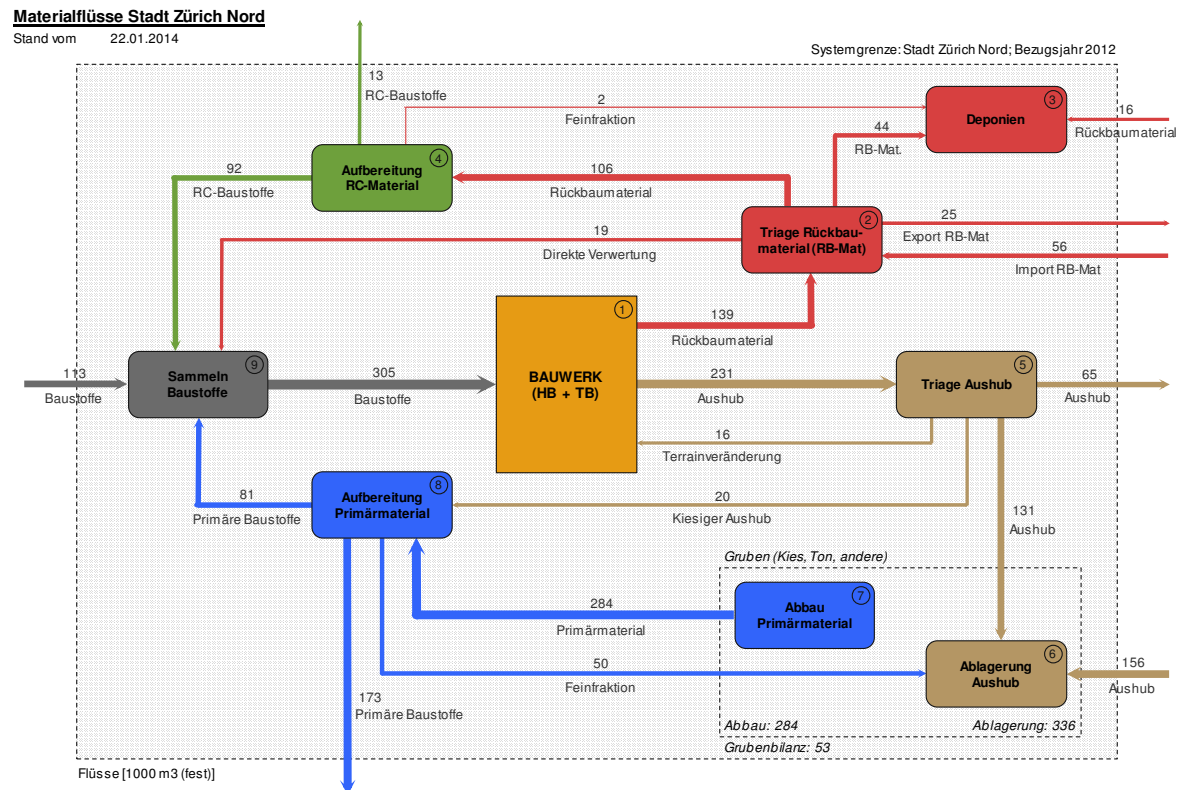


Abbildung 3: Darstellung des Systems aus dem KAR-Modell für das Stadtgebiet Zürich-Nord zur Berechnung der drei Materialflüsse: Baustoffe ins Bauwerk Stadt Zürich (Prozess 1 in der Mitte), Aushub- und Rückbaumaterialflüsse aus dem Bauwerk

In der Tabelle 1 sind die aus den KAR-Modellierungen des Bauwerks resultierenden Materialflüsse, differenziert nach Stadtgebieten, zusammengefasst. Diese Daten werden ins Modell zur weiteren Berechnung eingelesen.

Tabelle 1: Mit dem KAR-Modell berechnete Materialflussvolumen ins bzw. aus dem Bauwerk der vier Stadtgebiete. Angaben in Kubikmetern pro Jahr, Werte auf Tausend gerundet.

	INPUT Kies / Gesteinskörnung	OUTPUT Aushub	OUTPUT Rückbaumaterial
Zürich Nord	304'000	231'000	139'000
Zürich Ost	197'000	124'000	101'000
Zürich Süd	196'000	111'000	111'000
Zürich West	362'000	262'000	177'000
Total in m³ pro Jahr	1'059'000	728'000	528'000

2.1.3 Bestimmung der Transportdistanzen

Die Entwicklung einer Methodik zur Festlegung der Transportdistanzen zwischen den Baustellen, Bahnterminals sowie Zwischenlagerplätzen in der Stadt Zürich und Umgebung, Kiesgruben, Aushub- und Inertstoffdeponien ist eine wesentliche Voraussetzung, um die im Modell berechneten Szenarien miteinander vergleichen zu können und aussagekräftige Resultate zu erhalten.

Das Konzept zur Festlegung der Transportdistanzen lässt sich anhand der Abbildung 4 erläutern. Dort sind die verschiedenen Transportoptionen von den Kiesgruben bis zu den Baustellen im Stadtgebiet Zürich Nord (kleine Kreise um Quartierknoten) schematisch dargestellt. Die Kiestransporte können entweder direkt per LKW auf die Baustellen geführt werden, wobei die Transporte immer über einen festgelegten Quartierknotenpunkt erfolgen.

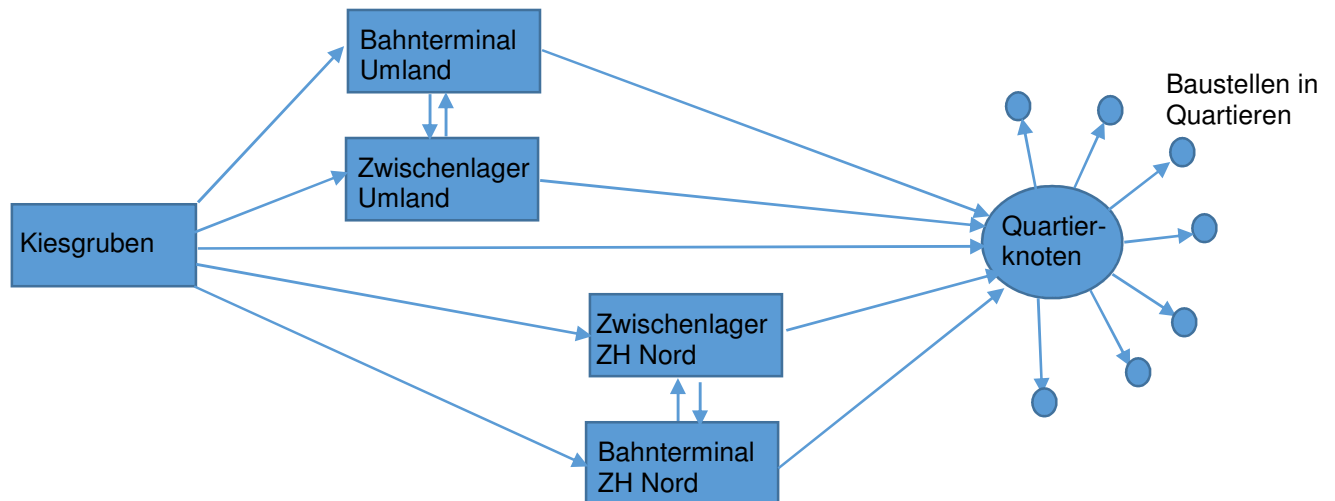


Abbildung 4: Schematische Darstellung zur Erläuterung des Konzepts zur Erfassung der Transportdistanzen anhand des Beispiels der Kiestransporte. Dargestellt ist eine Auswahl von Transportoptionen von der Kiesgrube bis zu den einzelnen Baustellen im Stadtgebiet Zürich Nord. Bemerkung: Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, sind nicht alle Prozesse und Transportoptionen eingezeichnet.

Weiter können die Kiestransporte über die Bahnterminals oder Zwischenlager erfolgen, welche im Umland beziehungsweise im Stadtgebiet Zürich Nord bereits heute betrieben oder künftig erstellt werden. Zudem kann das Material auch über die Bahnterminals zu den Zwischenlagern und umgekehrt verschoben werden. Grundsätzlich wären noch weitere Varianten, wie beispielsweise Kiestransporte aus anderen Stadtgebieten zu den Baustellen, möglich. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden aber nicht alle Optionen eingezeichnet. Für jeden Pfeil in der Abbildung muss die Distanz bestimmt werden. Das Beispiel in der Abbildung 4 zeigt nur die Kiestransportoptionen für ein Stadtgebiet. Die Distanzen müssen aber auch für die anderen Stadtgebiete und für die Aushub- und Rückbaumaterialien bestimmt werden. Somit wird klar, dass eine relativ differenzierte und umfangreiche Datengrundlage im Bereich der Transportdistanzen entwickelt wurde.

Festlegung der Standorte der Zwischenlager

Wie erwähnt, bestehen die Zwischenlager in den vier Stadtgebieten heute noch nicht. Um dennoch Aussagen über die Auswirkung von Zwischenlagern auf die Umweltbelastungen machen zu können, wurde pro Stadtgebiet jeweils ein «virtuelles» Zwischenlager definiert. Dabei wird der ungefähre Schwerpunkt der Fläche eines Stadtgebietes gemäss der Abbildung 5 bestimmt.



Abbildung 5: Bestimmung des «virtuellen» Zwischenlagers im Stadtgebiet Zürich Nord (Affoltern, Oerlikon, Schwamendingen). Mittels zweier Linien wird der ungefähre Schwerpunkt bestimmt (blauer Punkt). Auf diesem liegt das «virtuelle» Zwischenlager (Quelle: GIS-ZH, Kanton Zürich).

Die mit dieser Methode bestimmten «virtuellen» Zwischenlager sind in der Tabelle 2 aufgelistet. Für Stadt Zürich-kundige wird schnell klar, dass beispielsweise beim Toblerplatz kein Zwischenlager erstellt werden kann. Grundsätzlich spielt es aber keine wesentliche Rolle an welchem Standort in einem Teilgebiet der Stadt Zürich das Zwischenlager liegt, wenn von der Annahme ausgegangen wird, dass die Bauwerksdichte in den entsprechenden Stadtgebieten in etwa gleich gross ist. Liegt das Zwischenlager beispielsweise eher am westlichen Rand eines Stadtgebietes (z.B. in Zürich-Affoltern), dann sind die Transportdistanzen vom Osten (Schwamendingen) zwar grösser, dafür sind jene aus dem Westen deutlich geringer (siehe Abbildung 5).

Tabelle 2: Virtuelle Zwischenlagerstandorte in den vier Stadtgebieten.

Stadt	Standorte Zwischenlager Stadt Zürich
Zürich Nord	Thurgauerstrasse 40
Zürich Ost	Toblerplatz
Zürich Süd	Albisstrasse 10 (bei KIBAG Wollishofen)
Zürich West	Geerenweg

Bei der Bestimmung der Zwischenlagerstandorte im Umland wurden bestehende Areale von Unternehmen ausgewählt, auf denen im grösseren Umfang Rückbaumaterial und kiesiges Aushubmaterial aufbereitet und Beton produziert wird (Tabelle 3).

Tabelle 3: Auswahl von Zwischenlagerstandorten im Umland.

Unternehmen	Standorte Zwischenlager Umland
KIBAG RE	Moosackerstrasse 65, Regensdorf
EZR Weiningen AG	Im Riesentobel, Weiningen
AGIR AG 1	Alte Obfeldstrasse 55, Affoltern a. Albis
AGIR AG 2	Ueberlandstrasse, Dietikon
EBIREC	Oberglattstrasse, Rümlang
HASTAG	Urdorfstrasse 100, Birmensdorf

Die Distanzen von den Baustellen in den einzelnen Stadtgebieten zu den Zwischenlagern im Umland wurden folgendermassen bestimmt: Bei einem Materialtransport von beispielsweise einer Baustelle bzw. dem Zwischenlager in Zürich Nord zum Zwischenlager im Umland wird angenommen, dass verschiedene Standorte wie die KIBAG RE, EBIREC, AGIR AG 2 und zur EZR Weiningen AG angefahren werden können. Die durchschnittliche Distanz wird nun aus dem Mittelwert der Distanzen zu diesen Standorten ermittelt.

Festlegung der Standorte der Kiesgruben und Inertstoffdeponien

In den Kiesgruben wird Kies abgebaut und Aushubmaterial entsorgt. Einige Kiesgruben verfügen über einen Bahnanschluss (Weiach, Hüntwangen-Wil). Dies wird bei den Bahntransporten entsprechend berücksichtigt. Das nicht verwertete Rückbaumaterial wird in Deponien entsorgt. In der Tabelle 4 sind die gewählten Standorte der Kiesgruben und Deponien differenziert nach geografischer Ausrichtung aufgeführt. Es sei hier nochmals erwähnt, dass beispielsweise die Baustellen im Stadtgebiet Zürich Nord nicht nur von den Kiesgruben im Norden des Kantons (Weiach, Hüntwangen) versorgt werden, sondern auch Kies aus den Gruben in Würenlos oder Volketswil beziehen können. Dies gilt ebenfalls für die anderen Stadtgebiete. Aus diesem Grund sind in der Tabelle 4 teilweise auch Kiesgruben mehrfach aufgeführt. Gleiches gilt für die Deponien.

Tabelle 4: Im Modell berücksichtigte Standorte von Kiesgruben und Deponien für die Bestimmung der Transportdistanzen.

Umland	Standorte Kiesgruben/Aushubauffüllungen
Kiesgruben Umland Nord	Weiach, Hüntwangen, Würenlos, Volketswil
Kiesgruben Umland Ost	Weiach, Volketswil, Würenlos
Kiesgruben Umland Süd	Neuheim, Maschwanden, Würenlos
Kiesgruben Umland West	Mülligen, Birrfeld, Würenlos, Volketswil
Deponien Umland Nord	Lufingen, Pfungen, Bruni (Pfungen)
Deponien Umland Ost	Lufingen und Chrüzlen (Oetwil am See)
Deponien Umland Süd	Tambrig (Obfelden)
Deponien Umland West	Pfaffenbiel1 und Seon

Festlegung der Standorte der Bahnterminals

Bei der Festlegung der Bahnterminals in der Stadt Zürich und im Umland wurden die bestehenden und möglichen Standorte gewählt. In der Tabelle 5 sind diese Standorte gegliedert nach Stadtgebiet bzw. geografischer Ausrichtung zusammengefasst. In der Stadt Zürich werden heute geringe Mengen an Aushubmaterial über den Bahnterminal der DEBAG sowie Kieslieferungen per Schifftransport an die KIBAG in Wollishofen abgewickelt, wobei hier zu erwähnen ist, dass die Schiffstransporte im Modell der Einfachheit halber als Bahntransporte gerechnet werden. Im Umland wird die HASTAG in Birmensdorf mit Kies beliefert. Die ESAR nimmt hauptsächlich verschmutztes Aushubmaterial an.

Tabelle 5: Im Modell berücksichtigte Standorte von Bahnterminals für die Bestimmung der Transportdistanzen.

Stadt	Standort Bahnterminals (und Schifflanlegestelle)
Zürich Nord	Bahnhof Affoltern, Riedenhaldenstrasse 18
Zürich Ost	Bahnhof Tiefenbrunnen, Bellerivestrasse
Zürich Süd	KIBAG, Mythenquai 383 (Schifflanlegestelle)
Zürich West	DEBAG, Hohlstrasse 330
Umland	Bahnterminals
Zürich Nord	ESAR, Rümlang/Oberglatt
Zürich Ost	ESAR / Dietikon, Ueberlandstrasse/Güterstrasse
Zürich Süd	HASTAG, Birmensdorf
Zürich West	Dietikon, Ueberlandstrasse/Güterstrasse

Als Grundlagen für die Bestimmung der Distanzen auf der Schiene wurde der Distanzanzeiger der SBB verwendet (SBB, 2012).

Sämtliche bestimmten Transportdistanzen werden anschliessend in eine Input-Output-Matrize eingetragen, welche als Datengrundlage im Modell dient. Diese Tabelle ist im Anhang enthalten.

2.1.4 Indikatoren Umweltbelastung

Die durch den Materialumschlag und Transporte verursachten Umweltbelastungen werden mittels den Indikatoren Primärenergieaufwand (PE), Treibhausgasemissionen (THG), Umweltbelastungspunkte (UBP'06) ausgedrückt. Die jeweiligen Emissionsfaktoren für die Bahn- und LKW-Transporte stammen aus dem «mobitool» (mobitool, 2010). Zusätzlich wurden für das vorliegende Projekt die Emissionsfaktoren für LKW < 32 Tonnen mit dem Emissionscode EURO 6 neu gerechnet (Wyss, 2013). Die Abschätzungen zu den Umweltbelastungen, welche durch das Umladen mittels Pneucladern entstehen, basieren auf Ökobilanzdaten der KBOB-Empfehlung 2009/1- Stand Juli 2012 (KBOB, 2012). In der Tabelle 6 sind die Emissionsfaktoren aufgeführt, welche im Modell eingesetzt werden können. Die im Resultatteil aufgeführten Daten basieren auf den in der Tabelle 6 mit fetter Schrift markierten Datensätzen. Bei den LKW-Transporten wird somit von einer durchschnittlichen Auslastung von 70% ausgegangen und es werden alle Transporte mittels EURO 5 - LKW durchgeführt.

Als Basis für diese Annahme dienten die im Rahmen der Umweltbaubegleitung ausgewerteten Aushubtransporte der Baustelle «Bettenhaus Triemlispital». Dort erfolgten im Zeitraum zwischen 2008 bis 2011 rund 70% aller Aushubtransporte mittels EURO 5 – LKW. Im Jahr 2012 waren es dann bereits 90%. Somit ist die Annahme, dass bis ca. 2015 beinahe sämtliche Baumaterialtransporte mittels EURO 5 – LKW erfolgen, durchaus vertretbar.

Tabelle 6: Emissionsfaktoren, welche im Modell verwendet werden können. Die mit fetter Schrift markierten Werte wurden für die Berechnungen verwendet. (Quelle: mobitool; verwendete Parameter: Sattelschlepper >32t; Auslastung 70%).

Verkehrsmittel	UBP 06	PE	THG
	UBP/tkm	MJ/tkm	Gramm/tkm
Sattelschlepper >32 t EURO 3; Auslastung 70%	97.4	1.59	93.8
Sattelschlepper >32 t EURO 4; Auslastung 70%	79.6	1.42	82.1
Sattelschlepper >32 t EURO 5; Auslastung 70%	74.2	1.44	83.1
Sattelschlepper >32 t EURO 6; Auslastung 70%	69.6	1.46	83.8
Güterzug Schweiz, Elektrolok Strommix SBB, Diesellok nur für Rangieren	35.9	0.75	14.0
Nur Elektrolok ohne Rangieren	33.0	0.74	11.4
Diesellok ohne Partikelfilter	69.5	0.79	50.7
Diesellok mit Partikelfilter	71.4	0.79	49.8
Pneulader (jeweils pro Tonne Material)	457.1	5.50	368.3

Die in diesem Kapitel aufgeführten Datengrundlagen werden im Modell verwendet, um die weiteren Berechnungen durchzuführen. Im nachfolgenden Kapitel 2.2 wird nun auf den konkreten Modellaufbau und die Parametrisierung des Modells bzw. der Szenarien eingegangen. Es geht somit darum, aufzuzeigen, wie die verschiedenen Datengrundlagen miteinander verknüpft werden, damit die Umweltbelastungen aus dem Materialumschlag und den Transporten in Abhängigkeit von definierten Szenarien berechnet und miteinander verglichen werden können.

2.2 Modellaufbau

Die umfangreichen Datengrundlagen zu den Materialflüssen, Fahrdistanzen und spezifischen Umweltbelastungen müssen im Modell miteinander verknüpft werden. Ein zentraler Aspekt der Modellierung ist die Verteilung der Materialflüsse, welche ins Bauwerk bzw. aus dem Bauwerk gelangen, auf die verschiedenen Prozesse. In der Abbildung 6 ist das System mit den verschiedenen Prozessen dargestellt. Der Prozess 1 stellt das Bauwerk Stadt Zürich dar. Dieses beinhaltet nicht nur den Hoch- sondern auch den Tiefbau. Wie bereits im Kapitel 2.1.2 erwähnt, werden die Materialflüsse ins und aus dem Bauwerk mittels des KAR-Modells für jedes Stadtgebiet abgeschätzt.

Weitere Prozesse sind die Bahnterminals in der Stadt und im Umland (Prozess 2: BT in der Stadt, Prozess 4: BT im Umland) sowie die Zwischenlager in der Stadt und im Umland

Vorgehen und Modellgrundlagen

(Prozess 3: ZL in der Stadt, Prozess 5: ZL im Umland). Im Prozess 6 sind die Kiesgruben (Kiesabbau und Auffüllung mit Aushub), die Inertstoffdeponien und das Bauwerk im Umland zusammengefasst. Die Prozesse sind mit Pfeilen verbunden, welche einerseits die Materialflüsse, die Transportleistungen und die Umweltbelastungen abbilden können. Andererseits stellen diese auch die möglichen Transportoptionen dar.

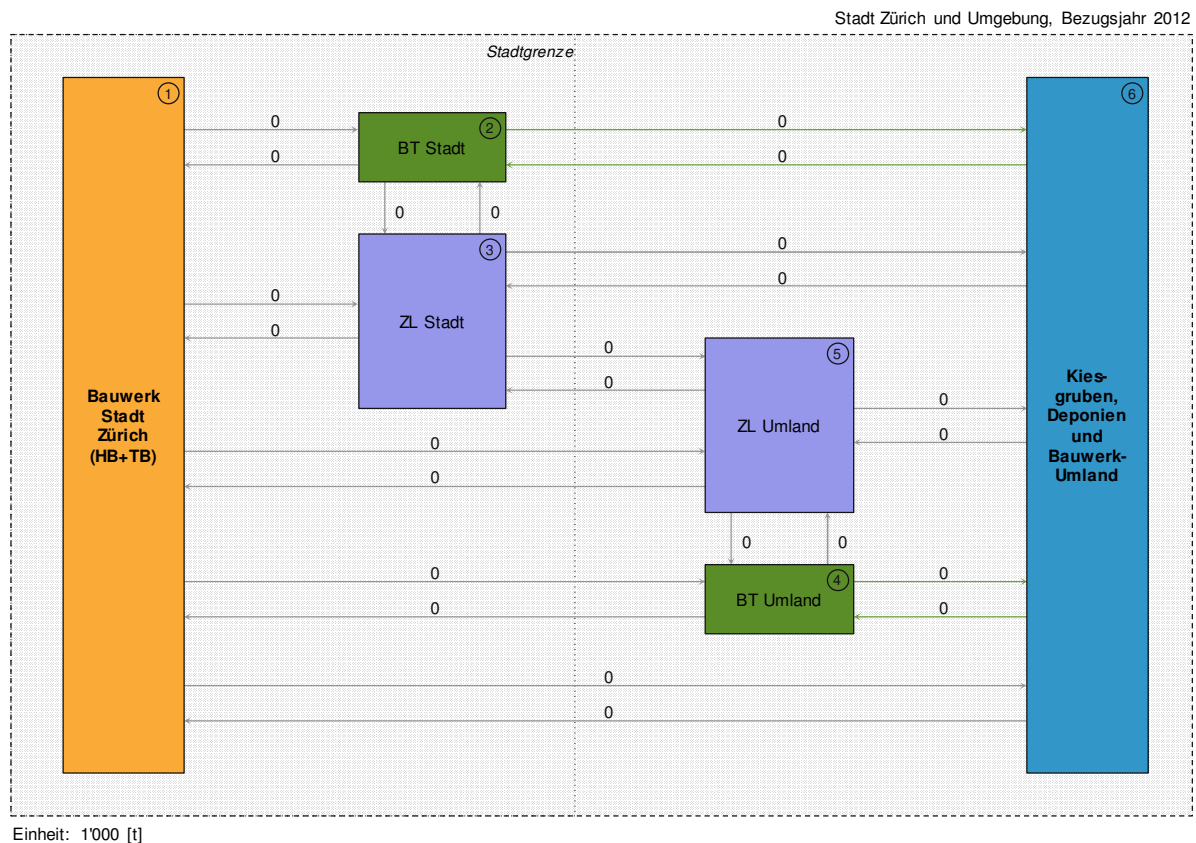


Abbildung 6: System, in dem die modellierten Materialflüsse, Transportleistungen (in tkm) und die Umweltbelastungen definiert und dargestellt werden können.

Die Prozesse Zwischenlager sind im Modell in drei Subprozesse unterteilt. Der erste Subprozess steht für die reine Zwischenlagerung vom Rohmaterial (Kies, Aushub- und Rückbaumaterial), im zweiten Subprozess kann Rückbaumaterial oder kiesiger Aushub aufbereitet werden und der dritte Prozess ist ein Betonwerk. Mittels Parameterveränderungen können jeweils die Prozesse „aktiviert“ bzw. „deaktiviert“ werden. Falls beispielsweise eine Aufbereitung im Zwischenlager stattfindet, bedingt dies einen zusätzlichen Auflad. Dieser wird bei der Berechnung der Umweltbelastungen berücksichtigt.

Die Darstellung in der Abbildung 6 stellt das aggregierte System für die Stadt Zürich dar. Die Materialflüsse in den einzelnen (Stadt-) Regionen Nord, Ost, Süd, West können in separaten Grafiken dargestellt werden. Im Modell werden alle Berechnungen auf der Stufe Stadtgebiet bzw. Region durchgeführt und anschliessend für die Visualisierung teilweise aggregiert.

Die Systemgrenze ist in diesem Modell durch die Kiesgruben und Ablagerungsstellen im Umland gegeben. Es spielt dabei keine Rolle, ob diese Standorte innerhalb oder ausserhalb

des Kantons Zürich liegen. Im System ist das Subsystem ‚Stadt Zürich‘ integriert. Zeitlich werden alle Werte bezüglich dem Bezugsjahr 2012 berechnet. Das Modell ist im Excel erstellt.

Im Modell müssen sämtliche möglichen Transportwege und -optionen berücksichtigt werden. Dies erfordert eine umfangreiche Parametrisierung, weil grundsätzlich sehr viele Varianten möglich sind. Die Verteilung der Materialflüsse (Parametrisierung) erfolgt über die Definition von sogenannten Transferkoeffizienten. Mit diesen wird jeweils definiert, wie ein Inputfluss in einen Prozess auf die verschiedenen Outputflüsse verteilt wird.

2.2.1 Grundlagen zur Parametrisierung der Szenarien

Die vielen Angaben für das Modell sind auf einzelne Tabellen aufgeteilt. Als Beispiel wird die Parametrisierung mit der Tabelle im Anhang A.2 erklärt.

Es handelt sich dabei um die Tabelle «TK_N». In der ersten Spalte der Tabelle sind die Bezeichnungen der Transferkoeffizienten aufgeführt. In der oberen Hälfte der Tabelle befinden sich die Felder für die Einträge der szenarioabhängigen Transferkoeffizienten vom bzw. aus dem Bauwerk in die und aus den Zwischenlagern und Bahnterminals in der Stadt und im Kanton. Die Bezeichnungen sind jeweils gleich strukturiert. Die Bezeichnung ZH_N.ZL.roh bedeutet beispielsweise, dass es sich um die Transferkoeffizienten handelt, welche die Materialflüsse (Kies/Aushub Rückbaumaterial) in oder aus dem Bauwerk in das Zwischenlager «ZL» im Stadtgebiet Zürich-Nord «ZH_N» zur Zwischenlagerung vom Rohmaterial «roh» verteilt. Liegt der Standort des Zwischenlagers oder Bahnterminals «BT» beispielsweise im Osten des Umlandes, dann wird dies als «Kt_O» bezeichnet. Das Bauwerk, die Kiesgruben, die Aushubdeponie (Auffüllung in Kiesgrube) sowie die Inertstoffdeponie werden als «BW», «KG», «DepA» sowie «DepI» bezeichnet. In der unteren Tabellenhälfte kann mittels Transferkoeffizienten definiert werden, welche Anteile direkt auf der Baustelle verwertet werden, welche Anteile in die Kiesgruben, in die Auffüllung (DepA) oder in die Inertstoffdeponien gelangen.

Die nächsten Spalten werden jeweils nach den Materialien Kies, Aushub und Rückbaumaterial gruppiert. In den Untergruppen findet die Differenzierung nach Szenarien statt. Maximal können gleichzeitig vier verschiedene Szenarien definiert und später miteinander verglichen werden. Bei der Parametrisierung sind nun jeweils Werte in die hell markierten Zellen einzufüllen, diese müssen schlussendlich in der Summe der Spalten in der untersten Zeile den Wert 1 ergeben (GA = Gesamtanteil). Teilweise sind die Werte zwischensummiert (hellgraue Felder). Falls ein Eingabewert dazu führt, dass der Gesamtanteil den Wert 1 übertrifft, werden die entsprechenden Felder automatisch mit roter Farbe hinterlegt, was bedeutet, dass tiefere Werte eingesetzt werden müssen. Die Tabelle im Anhang A.2 umfasst die Parametrisierung bezüglich des Stadtgebietes Zürich Nord. Ergänzend müssen die Transferkoeffizienten für die weiteren Stadtgebiete Ost, Süd und West (Tabellen TK_O, TK_S, TK_W), festgelegt werden. In einer weiteren Parametertabelle (TK_ZwiLA) wird festgelegt, ob das Rohmaterial (Aushub- und Rückbaumaterial), welches in die Zwischenlager geführt wird, aufbereitet und/oder an ein Bahnterminal verschoben wird. Falls aufbereitetes Material auf dem Zwischenlager vorliegt, kann mittels weiterer Transferkoeffizienten definiert werden, welche Anteile in die Betonproduktion gehen oder in loser Form ins Bauwerk zurückgeführt werden. Die Tabelle «TK_ZwiLA» ist im Anhang enthalten.

In den weiteren Tabellen sind die Datengrundlagen zu den Distanzen (Tabelle «Dist»), die spezifischen Umweltbelastungen (Tabellen «UBP», «PE», «THG»), die Umweltbelastungen (Tabelle «Emi») und wichtige Konstanten (Tabelle «Konst») enthalten. Die Werte in diesen Tabellen können bei Bedarf geändert werden. Insbesondere in der Tabelle «Konst» können Parameter, wie beispielsweise der Anteil der mineralischen Fraktion, die nach einer Aufbereitung in die Inerstoffdeponie geführt werden, definiert werden. Die Tabelle «Konst» ist im Anhang enthalten.

2.2.2 Berechnungen im Modell mittels Input-Output-Tabellen

Grundsätzlich werden im Modell zunächst alle Materialflüsse berechnet. Diese können über Massenbilanzen kontrolliert werden, was bedeutet, dass Input und Output der Prozesse Zwischenlager und Bahnterminal jeweils gleich gross sein müssen. Diese Annahme macht die Modellierung überhaupt erst möglich. Die grosse Anzahl an Parametern lässt erahnen, welche grosse Mengen an Daten und Verflechtungen im Modell bearbeitet werden müssen. Für die Berechnung ist daher ein systematischer Aufbau notwendig. Eine probate Methode ist die Verwendung von Input-Output-Tabellen (I-O-Tabellen). Diese Methode stammt ursprünglich aus den Arbeiten des Ökonomen Wassily Leontief. Leontief entwickelte die Input-Output-Analyse, um die Verflechtung zwischen Wirtschaftssektoren oder auch Produktionsunternehmen einer Volkswirtschaft untersuchen zu können. Der Ansatz der Input-Output-Analyse kann aber auch auf komplexe Entsorgungssysteme übertragen werden (Baccini, 1996; Löschau, 2006). Im Bereich der Materialflussanalysen erlaubt der Einsatz von I-O-Tabellen die Verknüpfung von Input- und Outputflüssen über die definierten Prozesse. Dabei werden die Matrizen so gestaltet, dass eine eindeutige Zuordnung zwischen den Input- und Outputflüssen stattfindet. Dieses erleichtert später zudem das Auffinden und Beheben allfälliger Fehler bei der Datenverarbeitung (z. B. falsche oder unvollständige Verknüpfungen).

Im vorliegenden Projekt werden die Transferkoeffizienten für jedes Material und jedes Szenario getrennt aus den Parametertabellen in die I-O-Tabellen eingelesen. In einer weiteren Tabelle werden die Transferkoeffizienten mit den aus dem KAR-Modell berechneten Materialflüssen verknüpft. Dabei werden die Matrizen zuerst von der Einheitsmatrix subtrahiert, dann invertiert und anschliessend – je nachdem, ob der Input oder Output gegeben ist - entsprechend mit dem jeweiligen Vektor multipliziert. Der Umfang dieser Matrizen umfasst für jedes Material rund 2'500 Zellen.

Als Resultat ergibt sich eine neue I-O-Tabelle mit den einzelnen Materialflüssen (siehe Tabelle im Anhang A.6). Mit der Definition der verschiedenen Parameter für die einzelnen Szenarien, sind sämtliche Materialflüsse bzw. Transporte im System definiert. Da auch die Distanzen und die spezifischen Umweltbelastungen sowie die Transportmittel bekannt bzw. festgelegt sind, können nun die einzelnen und die totalen Umweltbelastungen pro Szenario berechnet werden. Bevor auf die detaillierten Berechnungsgrundlagen eingegangen wird, ist nachfolgend nochmals der allgemeine Zusammenhang zwischen den Materialflüssen, Distanzen und spezifischen Umweltbelastungen aufgeführt. Die Umweltbelastung aus einem Transport berechnet sich mittels der folgenden Formel:

$$\text{Umweltbelastung} = \text{Materialfluss [Tonnen]} \times \text{Wegstrecke [km]} \times \text{Emissionsfaktor [UBP, GJ, kg/tkm]}$$

Bei der Wegstrecke handelt es sich jeweils um die Distanz zwischen zwei Prozessen ohne Berücksichtigung des Leerfahrtenanteils. Der Leerfahrtenanteil wird indirekt über die Berechnung der spezifischen Emissionsfaktoren mittels Festlegung der Auslastung im «mobitool» einbezogen.

Neben den Umweltbelastungen aus den Materialtransporten müssen die von den zusätzlichen Umladeprozessen ausgehenden Umweltbelastungen in die Berechnung mit einbezogen werden. Dabei wird jeweils bei einem Verlad von einem LKW auf die Bahn in einem Bahnterminal ein zusätzlicher Auflad gerechnet. In einem Zwischenlager kann Material zwischengelagert, aufbereitet und anschliessend für die Betonproduktion verwendet werden. Sollten alle diese Schritte durchlaufen werden, sind dazu drei Umladeprozesse notwendig. Wird nur Material zwischengelagert, dann wird ein Umlad gerechnet. Die Berechnung der Umweltbelastungen aus den Umladeprozessen erfolgt mittels der Faktoren in der Tabelle 6.

Die Resultate aus den Szenarienrechnungen werden als Rohdaten in den Tabellen «Roh_t» für die Materialflüsse, «Roh_tkm» für die Transportleistungen und «Roh_emi» für die Umweltbelastungen abgespeichert. Sie umfassen jeweils rund 500 Werte pro Szenario. Diese Rohdaten können nun für die Auswertung und grafische Darstellungen verwendet werden.

2.3 Definition der Szenarien

Der Schwerpunkt des Projekts liegt in der Entwicklung eines funktionsfähigen Modells zur Quantifizierung der Umweltbelastungen, welche sich aus dem Umschlag und Transport von Kies-, Aushub- und Rückbaumaterial ergeben. Weiter sollen Szenarien definiert werden, um aufzuzeigen, welche Auswirkung die Einführung von Zwischenlagern und Bahnterminals in der Stadt Zürich auf die Umweltbelastung in der gesamten Transportkette hat. Aus diesem Grund wurden die folgenden vier Szenarien definiert:

1. Szenario HEUTE: In diesem Szenario wird die heutige Situation möglichst gut abgebildet. Dies bedeutet, dass keine Materialflüsse in die Zwischenlager (ZL) erfolgen und nur die bestehenden Bahntransporte bzw. Bahnterminals (BT) in der Stadt Zürich berücksichtigt werden. Das Modell (bzw. die Materialflüsse) wird mit den bekannten Daten, soweit möglich, kalibriert.
2. Szenario ZWISCHENLAGER (ZL): Es gelangen rund 50% der Materialflüsse, welche zuvor über die Zwischenlager im Umland geführt wurden, in die Zwischenlager in der Stadt Zürich. Die restlichen 50% der Materialflüsse gehen weiterhin in die Zwischenlager im Umland. Die restlichen Vorgaben werden vom Szenario HEUTE übernommen.
3. Szenario BAHNTERMINAL (BT): In diesem Szenario werden rund 35% der Kies- und Aushubflüsse über Bahnterminals in der Stadt geführt. Wie im Szenario HEUTE gelangt kein Material in die Zwischenlager in der Stadt Zürich.
4. Szenario BT + ZW: Dieses Szenario ist eine Kombination der Szenarien 2 und 3. Es wird sowohl Material in die Zwischenlager als auch über die Bahnterminals im Umfang der in den Szenarien 2 und 3 definierten Anteile geführt.

In allen Szenarien wird mit den gleichen spezifischen Umweltbelastungen gerechnet. Dies bedeutet, dass die durchschnittliche Auslastung der LKW jeweils bei 70% liegt. In den Szenarien ZL und BT wird eine relativ grosse Menge Aushubmaterial über die Bahn transportiert. In der Praxis könnte es nun sein, dass damit der Leerfahrtenanteil bei den

Kiestransporten per LKW etwas zunimmt, weil weniger Aushubvolumen für die Rücktransporte zur Verfügung steht. Dieser Effekt ist in den Szenarien nicht berücksichtigt, weil er nur zu geringfügigen Änderungen führen dürfte (siehe dazu Kommentare im Kapitel 3.5 „Sensitivitätsanalysen“).

3 Resultate

Die aus den Szenarienrechnungen resultierenden Datensätze erlauben umfangreiche Auswertungen und entsprechende grafische Darstellungen, welche bereits im Modell automatisch erzeugt werden. Bei den nachfolgend präsentierten Resultaten handelt es sich deshalb nur um eine beschränkte Auswahl an Ergebnissen. Dem Modellaufbau entsprechend, wird im nachfolgenden Kapitel 3.1 zunächst auf die Materialflüsse eingegangen. Anschliessend werden die Transportleistungen (Kap. 3.2) und die Umweltbelastungen (3.3) thematisiert. Im Kapitel 3.4 werden die totalen Umweltbelastungen der vier Szenarien miteinander verglichen und interpretiert.

3.1 Materialflüsse

Die grafischen Darstellungen der Resultate, wie beispielsweise die Materialflussschemen, werden automatisch erzeugt. In der Abbildung 7 ist ein solches Schema aufgeführt. Im oberen Teil der Grafik sind drei hellblau hinterlegte Auswahlfelder (Drop-Down-Menüs) zu erkennen. In diesen kann im ersten Feld das Material, d.h. Kies, Aushub, Rückbaumaterial oder das Total dieser Materialflüsse ausgewählt und grafisch dargestellt werden. Im zweiten Feld kann das Szenario und im dritten Feld die Einheit bzw. der Indikator (Materialflüsse in Tonnen, Transportleistung in tkm oder Umweltbelastung in UBP, THG oder PE) gewählt werden. Dies erlaubt in einer kurzen Zeit die verschiedenen Resultate miteinander zu vergleichen.

3.1.1 Materialflüsse Gesamtsystem

In der Abbildung 7 sind die totalen Materialflüsse (Kies, Aushub- und Rückbaumaterial) für das Szenario HEUTE dargestellt. Zur Kalibration der Materialflüsse wurden jeweils die entsprechenden Mittelwerte aus den detaillierten Erhebungen des Kantons für die Bezugsjahre 2007 und 2010 zu den Kiesimporten und Aushubexporten des Kantons Zürich verwendet (Hofer 2011; Hofer 2012). Gemäss dem Szenario werden bereits heute etwas mehr als 100'000 Tonnen Material über Bahnterminals in der Stadt Zürich verschoben. Es handelt sich dabei um Kiestransporte, welche per Bahn (DEBAG) oder per Schiff (KIBAG in Wollishofen) in die Stadt Zürich erfolgen. Im Szenario HEUTE gibt es keine Zwischenlager in der Stadt Zürich, deshalb haben die entsprechenden Materialflüsse den Wert 0. Gut zu erkennen ist der relativ intensive Materialaustausch zwischen dem Bauwerk Stadt Zürich und den Zwischenlagern im Umland. Es gelangen rund 750'000 Tonnen Material von der Stadt Zürich in diese Zwischenlager. Der grösste Teil davon, nämlich 675'000 Tonnen ist Rückbaumaterial. Dieses wird aufbereitet und gelangt zu zwei Dritteln ins Bauwerk Stadt Zürich zurück. Ein knappes Drittel geht gemäss Szenarioannahme ins Bauwerk im Umland. Von den Kiesgruben gelangen 430'000 Tonnen Kies in die Zwischenlager im Umland, dieses wird zusammen mit dem Rückbaumaterial zu Beton verarbeitet oder gelangt von dort aus in loser Form ins Bauwerk Stadt Zürich zurück. In der Summe ergibt dies einen Materialfluss von 938'000 Tonnen. Der grösste Materialaustausch findet zwischen dem Bauwerk Stadt Zürich und den Kiesgruben und Deponien statt. Es gelangen knapp 1 Mio. Tonnen Kies direkt oder über Betonwerke ins Bauwerk Stadt Zürich. Umgekehrt werden etwas mehr als 1.2 Mio. Tonnen Aushubmaterial und rund 130'000 Tonnen Rückbaumaterial in die Kiesgruben zur Auffüllung bzw. in die Inertstoffdeponien geführt. Im Prozess „Bauwerk Stadt Zürich“ ist zudem zu erkennen, dass gemäss den zugrundeliegenden Szenarioannahmen 42'000 Tonnen Kies

Resultate

und 146'000 Tonnen Aushubmaterial direkt vor Ort wiederverwertet werden. In den Bauwerksprozessen sind zudem jeweils die Summen der Input- und Outputflüsse angegeben.

System-Diagramm, aggregierte Werte
Stand vom 24.01.2014

Material	Szenario	Einheit
Total	Szenario HEUTE	Tonnen

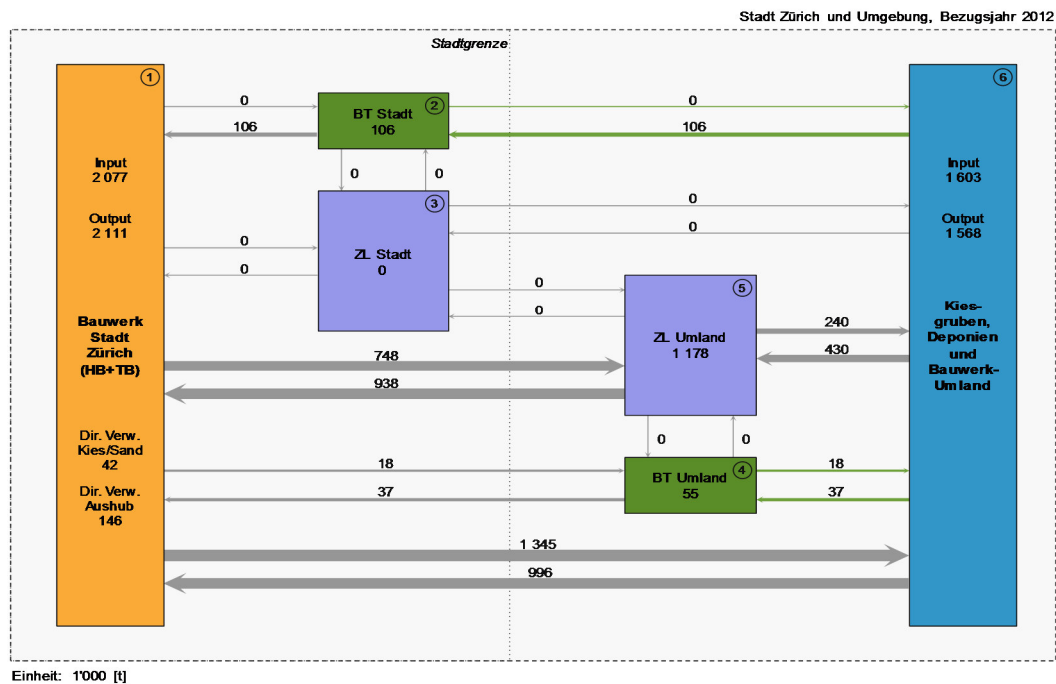


Abbildung 7: Totale Materialflüsse (Kies, Aushub- und Rückbaumaterial) für das Szenario HEUTE. Angaben in 1000 Tonnen; Bezugsjahr 2012.

System-Diagramm, aggregierte Werte
Stand vom 24.01.2014

Material	Szenario	Einheit
Total	Szenario ZL+BT	Tonnen

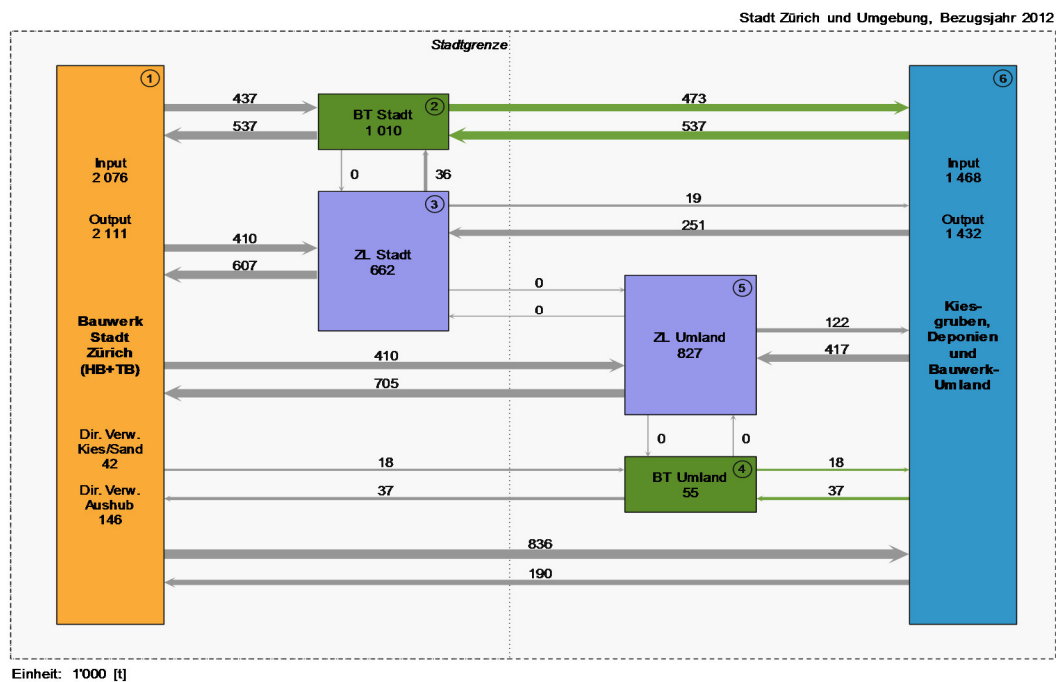


Abbildung 8: Totale Materialflüsse (Kies, Aushub- und Rückbaumaterial) für das Szenario ZL+BT. Angaben in 1000 Tonnen; Bezugsjahr 2012.

In der Abbildung 8 sind die totalen Materialflüsse des Szenarios ZL+BT (Zwischenlager und Bahnterminals in der Stadt Zürich) dargestellt. Die Unterschiede sind beim Vergleich der Materialflüsse der beiden Szenarien gut erkennbar. Auffallend ist der starke Rückgang des Kiesflusses von den Kiesgruben ins Bauwerk Stadt Zürich auf unter 200'000 Tonnen. Auch der Materialfluss vom Bauwerk Stadt Zürich in die Kiesgruben und Deponien ist um rund 500'000 Tonnen tiefer als im Szenario HEUTE. Demgegenüber fallen die grossen Materialflüsse über die Bahnterminals in der Stadt Zürich auf. Es werden in diesem Szenario 537'000 Tonnen per Bahn zu den Bahnterminals in der Stadt transferiert und von dort aus per LKW auf die Baustellen verteilt. Umgekehrt gelangen 437'000 Tonnen Aushubmaterial von den Baustellen und weitere 36'000 Tonnen von den Zwischenlagern per LKW in die Bahnterminals, wo der Umlad und Weitertransport per Bahn in die Kiesgruben zur Auffüllung erfolgt. Insgesamt wird somit in den Bahnterminals in der Stadt Zürich 1'010'000 Tonnen Material umgesetzt (siehe entsprechende Wert im grünen Kästchen). Die Angabe der Materialumsätze in den Bahnterminals und Zwischenlagern ist deshalb wichtig, weil mit diesen die Umweltbelastungen aus dem Umlad berechnet werden.

Ebenfalls hoch sind die Materialumsätze in den Zwischenlagern in der Stadt Zürich. Im Szenario ZL+BT wird davon ausgegangen, dass rund 50% des Rückbaumaterialvolumens, welches im Szenario HEUTE in die Zwischenlager im Umland gingen, im Szenario ZL+BT in die Zwischenlager in der Stadt Zürich gehen. Zusätzlich gelangt die gleiche Menge verwertbarer Aushub in die Zwischenlager in der Stadt Zürich. Somit resultiert ein Materialinput vom Bauwerk in die Zwischenlager von je 410'000 Tonnen. Der Rückfluss ins Bauwerk liegt mit etwas über 600'000 Tonnen rund 100'000 Tonnen tiefer als bei den Zwischenlagern im Umland. Der Grund dafür ist einerseits, dass knapp 170'000 Tonnen weniger Primärkies aus den Kiesgruben zugeführt wird und 35'000 Tonnen weniger Aushubmaterial ins Bauwerk Stadt Zürich gelangen. Andererseits werden rund 100'000 Tonnen mehr Rückbaumaterial aus den Zwischenlagern in der Stadt Zürich ins Bauwerk zurückgeführt. Die direkt auf der Baustelle verwerteten Materialmengen bleiben im Szenario ZL+BT gleich hoch wie im Szenario HEUTE.

3.1.2 Materialflüsse in Stadtgebieten

Um einen Eindruck von den Materialflüssen in den verschiedenen Stadtgebieten zu erhalten, sind diese in der Abbildung 9 für das Szenario ZL+BT in vier Grafiken dargestellt. Grundsätzlich ist erkennbar, dass die Materialumsätze in den Stadtgebieten Zürich Nord (oben links) und Zürich West (unten links) aufgrund der intensiveren Bautätigkeit grösser sind als in den beiden anderen Stadtgebieten. Dies zeigt sich auch beim Vergleich der Input- und Outputflüsse ins Bauwerk der jeweiligen Stadtgebiete, welche in der Tabelle rechts unten zusammengefasst sind.

Der totale Materialfluss über die Bahnterminals liegt im Bereich von 180'000 bis 350'000 Tonnen. Derjenige über die Zwischenlager liegt im Bereich von 120'000 bis 210'000 Tonnen. Dies bedeutet, dass sowohl die Bahnterminals als auch die Zwischenlager bei einer Umsetzung dieser Szenarien relativ gross dimensioniert werden müssten, um die anfallenden Materialflüsse bewältigen zu können. Die Rückbaumaterialflüsse in die Zwischenlager (rote Pfeile) sind relativ hoch. Hier gilt es zu beachten, dass ein Rückfluss ins Bauwerk sinnvollerweise eine Aufbereitung erfordert. Ob dies in der Praxis tatsächlich möglich wäre, müsste im Einzelfall geprüft werden.

Resultate

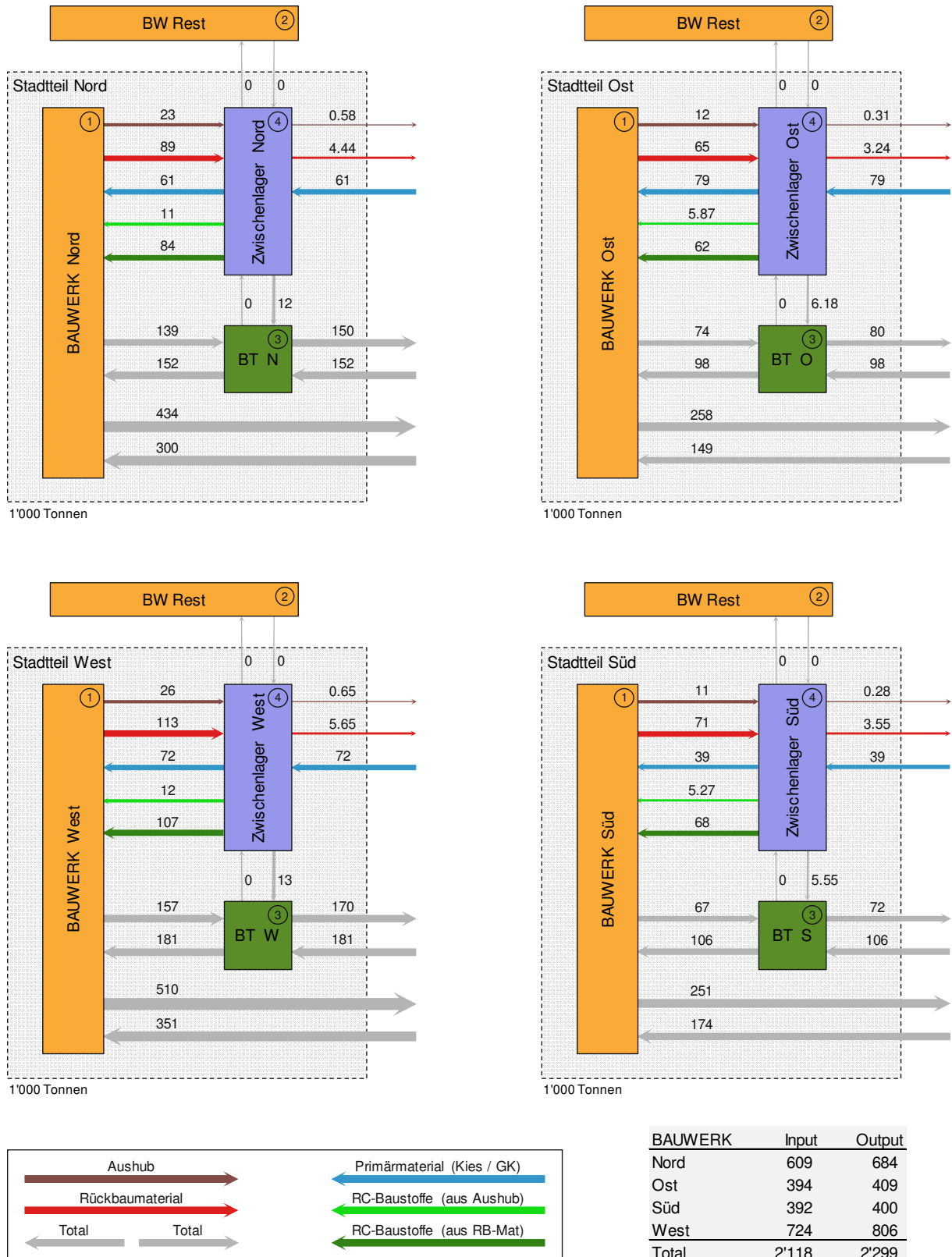


Abbildung 9: Materialflüsse in und aus den Zwischenlagern und Bahnterminals in der Stadt Zürich für das Szenario ZL+BT. Angaben in 1000 Tonnen; Bezugsjahr 2012.

3.2 Transportleistungen

Da nun die Materialflüsse bekannt sind, können unter Einbezug der Wegstrecken die Transportleistungen bestimmt werden. In der Abbildung 10 sind wiederum die Transportleistungen für das Szenario HEUTE und in der Abbildung 11 jene des Szenarios ZL+BT dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Szenarien sind gut zu erkennen. Im Szenario HEUTE sind hohe Transportleistungen zwischen dem Bauwerk Stadt Zürich und den Kiesgruben und Deponien erkennbar. Beim Kies sind es 34.4 Mio. tkm und beim Aushub gar etwas mehr als 40 Mio. tkm. Die Transportleistungen zwischen dem Bauwerk Stadt Zürich und den Zwischenlagern im Umland liegen mit 12.4 und 14.2 Mio. tkm deutlich tiefer. Jene zwischen den Kiesgruben/Deponien und den Zwischenlagern im Umland liegen mit 5.7 und 6.0 Mio. tkm ebenfalls mehr als 50% tiefer.

Interessant ist nun die Situation beim Szenario ZL+BT in der Abbildung 11. Obwohl der Materialaustausch zwischen dem Bauwerk Stadt Zürich und den Zwischenlagern in der Stadt und im Umland in etwa gleich gross ist (siehe Abbildung 8), liegen die entsprechenden Transportleistungen bei den Zwischenlagern in der Stadt um etwas mehr als 75% tiefer. Dies bedeutet, dass der Betrieb von Zwischenlagern in der Stadt Zürich einen Beitrag zur Reduktion der Transportleistungen leisten könnte.

Werden sämtliche Transportleistungen, welche über die Zwischenlager in der Stadt und im Umland für die beiden Szenarien HEUTE und ZL+BT erfolgen, aufsummiert und miteinander verglichen, zeigt sich das folgende Bild: Beim Szenario HEUTE resultiert eine Transportleistung von insgesamt 38,3 Mio. tkm, während es im Szenario ZL+BT 36.7 Mio. tkm sind. Das Szenario ZL+BT schneidet somit auch bei dieser Betrachtung besser ab, obwohl die transportierte Materialmenge beim Szenario ZL+BT um 550'000 Tonnen oder rund 20% höher liegt als im Szenario HEUTE.

Der Vergleich der totalen Transportleistungen in den beiden Szenarien zeigt, dass im Szenario HEUTE mit knapp 120 Mio. tkm rund 8 Mio. tkm mehr Transportleistungen erbracht werden als im Szenario ZL+BT. Interessant ist jedoch vor allem der Vergleich der durch die LKW-Transporte erbrachten Transportleistungen (graue Pfeile): Im Szenario HEUTE resultiert eine totale Fahrleistung von knapp 115 Mio. tkm, während es im Szenario ZL+BT nur 78 Mio. tkm sind. Somit schneidet das Szenario ZL+BT in diesem Bereich deutlich besser ab. Da bei den LKW jeweils von gleichen Ladekapazitäten und Auslastungen ausgegangen wird, liegt der Schluss nahe, dass die Strassen bei einer Umsetzung des Szenarios ZL+BT von LKW-Transporten entlastet würden. Dabei profitiert das Umland im Vergleich zur Stadt Zürich (Abgrenzung durch gestrichelte Linie in den Abbildungen) überproportional von einer solchen Entlastung, weil der grössere Anteil der Wegstrecken im Umland liegt. Eine detailliertere Auswertung diesbezüglich erfolgt im Resultatkapitel zu den Umweltbelastungen.

Bei den Bahntransporten ist die Situation umgekehrt. Während im Szenario ZL+BT eine totale Transportleistung von 33.4 Mio. tkm erbracht wird, sind es im Szenario HEUTE nur 5.0 Mio. tkm. Somit wird das Bahnnetz im Szenario ZL+BT stärker belastet als im Szenario HEUTE. Hinsichtlich den Umweltbelastungen schneiden Bahntransporte zwar besser als die LKW-Transporte ab. Allerdings müssen hier die Umweltbelastungen durch allfällige zusätzliche Umladeprozesse in einer umfassenden Betrachtung mit einbezogen werden. Auf diese Aspekte wird im nächsten Kapitel näher eingegangen.

Resultate

System-Diagramm, aggregierte Werte
Stand vom 24.01.2014

Material	Szenario	Einheit
Total	Szenario HEUTE	Tonnenkilometer

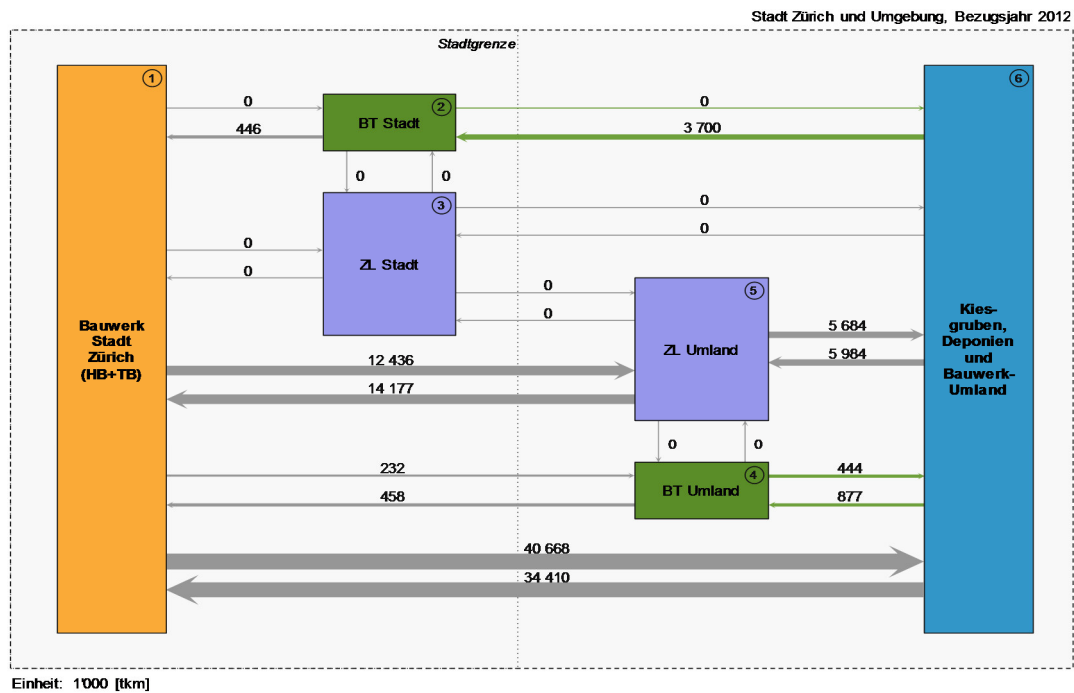


Abbildung 10: Resultierende Transportleistungen, welche sich im Zusammenhang mit den Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialtransporten für das Szenario HEUTE ergeben. Angaben in 1000 Tonnenkilometern; Bezugsjahr 2012.

System-Diagramm, aggregierte Werte
Stand vom 24.01.2014

Material	Szenario	Einheit
Total	Szenario ZL+BT	Tonnenkilometer

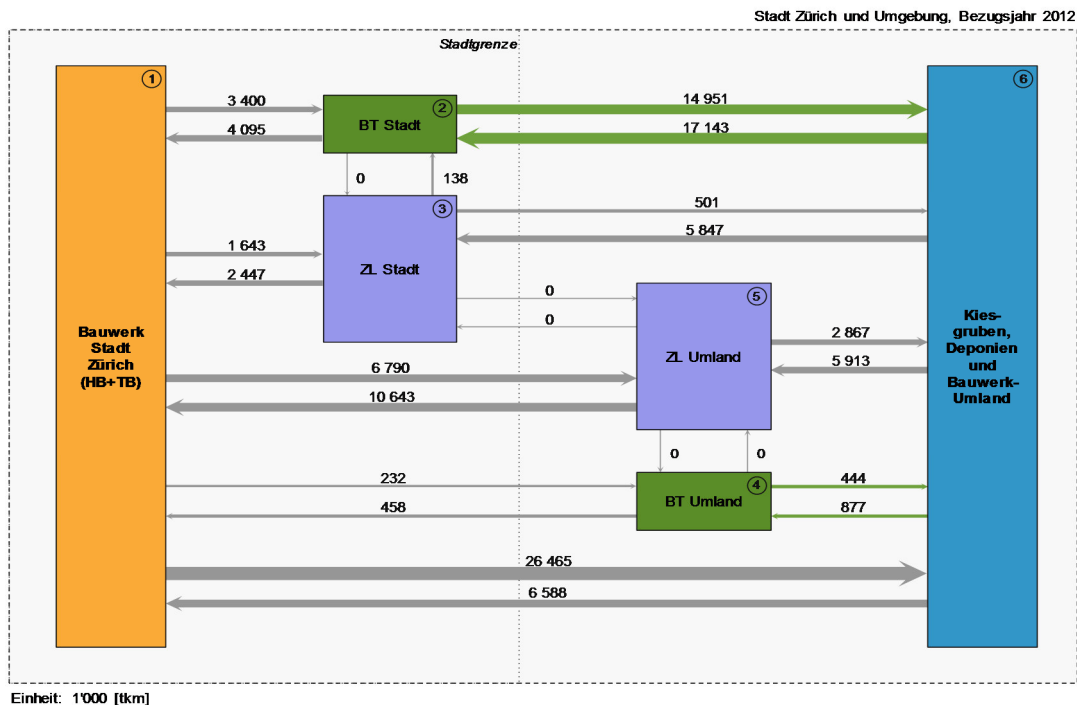


Abbildung 11: Resultierende Transportleistungen, welche sich im Zusammenhang mit den Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialtransporten für das Szenario ZL+BT ergeben. Angaben in 1000 Tonnenkilometern; Bezugsjahr 2012.

3.3 Umweltbelastungen

Die Umweltbelastungen werden aus den Transportleistungen und den spezifischen Umweltbelastungen berechnet. Die Auswertung kann im Modell nach dem Primärenergieaufwand (PE), den Treibhausgasemissionen (THG) oder nach Umweltbelastungspunkten (UPB) erfolgen. Da sich die Resultate bei den Umweltbelastungen bezüglich des Systemverhaltens nur wenig voneinander unterscheiden, werden diese anhand der UBP'06' (Version 2006) besprochen.

In der Abbildung 12 sind die UBP'06' für das Szenario HEUTE und in der Abbildung 13 jene des Szenarios ZL+BT dargestellt. Beim Vergleich der Szenarien sind grundsätzlich ähnliche Unterschiede festzustellen wie bei den Transportleistungen. Allerdings sind diese bezüglich den UBP'06' weniger ausgeprägt. Dies ist beispielsweise auf die geringeren spezifischen Umweltbelastungen bei den Bahntransporten zurückzuführen. Analog den Auswertungen bei den Transportleistungen können wiederum die UBP'06' sämtlicher Transporte (Bahn+LKW) aufsummiert werden. Dies ergibt für das Szenario HEUTE eine totale Umweltbelastung von 8'640 Mio. UBP und für das Szenario ZL+BT 6'990 Mio. UBP, was einer Reduktion von knapp 20% gegenüber dem Szenario HEUTE entspricht. Allerdings sind hier die zusätzlichen Umladeprozesse noch nicht berücksichtigt. Diese sind jeweils in den Prozessen (Kästchen) angegeben. Werden diese mit einbezogen, resultieren beim Szenario HEUTE totale Umweltbelastungen von knapp 9'640 Mio. UBP und beim Szenario ZL+BT 8'670 Mio. UBP. Nun liegt das Reduktionspotenzial des Szenarios ZL+BT nur noch bei knapp 10%. Die Optimierung der Transportlogistik führt somit zu vermehrten Umladeprozessen, welche das Reduktionspotenzial um rund die Hälfte verringern.

Der Einfluss der Umladeprozesse lässt sich auch anhand des Verhältnisses der Umweltbelastungen aus den Umladeprozessen zu den gesamten Umweltbelastungen aufzeigen: Im Szenario ZL+BT gehen 1'680 Mio. UBP auf das Konto der Umladeprozesse. Dies sind immerhin knapp 20% der gesamten Umweltbelastungen in diesem Szenario (8'670 Mio. UBP), was bedeutet, dass diese Prozesse nicht vernachlässigt werden dürfen. Hier ist zu erwähnen, dass im Szenario ZL+BT vorausgesetzt wird, dass in den Zwischenlagern sowohl Material zwischengelagert als auch aufbereitet wird. Zudem wird Beton produziert. Im Modell werden somit drei zusätzliche Umladeprozesse gerechnet. Sollte beispielsweise keine Aufbereitung stattfinden, dann würde die Umweltbelastung aus einem Umladeprozess entfallen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Veränderung der räumlichen Verteilung der Umweltbelastungen in Abhängigkeit des Szenarios. Der Vergleich der beiden Szenarien zeigt, dass die Umweltbelastung in der Stadt Zürich im Szenario HEUTE (Abbildung 12) deutlich tiefer sein dürfte als im Szenario ZL+BT. Im Szenario ZL+BT werden Zwischenlager und zusätzliche Bahnterminals eingeführt. Dies hat zur Folge, dass einerseits mehr Material innerhalb der Stadt Zürich umgesetzt wird (Kapitel 3.1.2). Andererseits kommen die zusätzlichen Umweltbelastungen aus den zusätzlichen Umladeprozessen hinzu, welche im konkreten Fall etwas über 1'000 Mio. UBP entsprechen. Im nachfolgenden Kapitel werden nun die totalen Umweltbelastungen der verschiedenen Szenarien miteinander verglichen, wobei nochmals auf den Aspekt der räumlichen Verteilung der Umweltbelastungen eingegangen wird.

Resultate

System-Diagramm, aggregierte Werte
Stand vom 27.01.2014

Material	Szenario	Einheit
Total	Szenario HEUTE	UBP

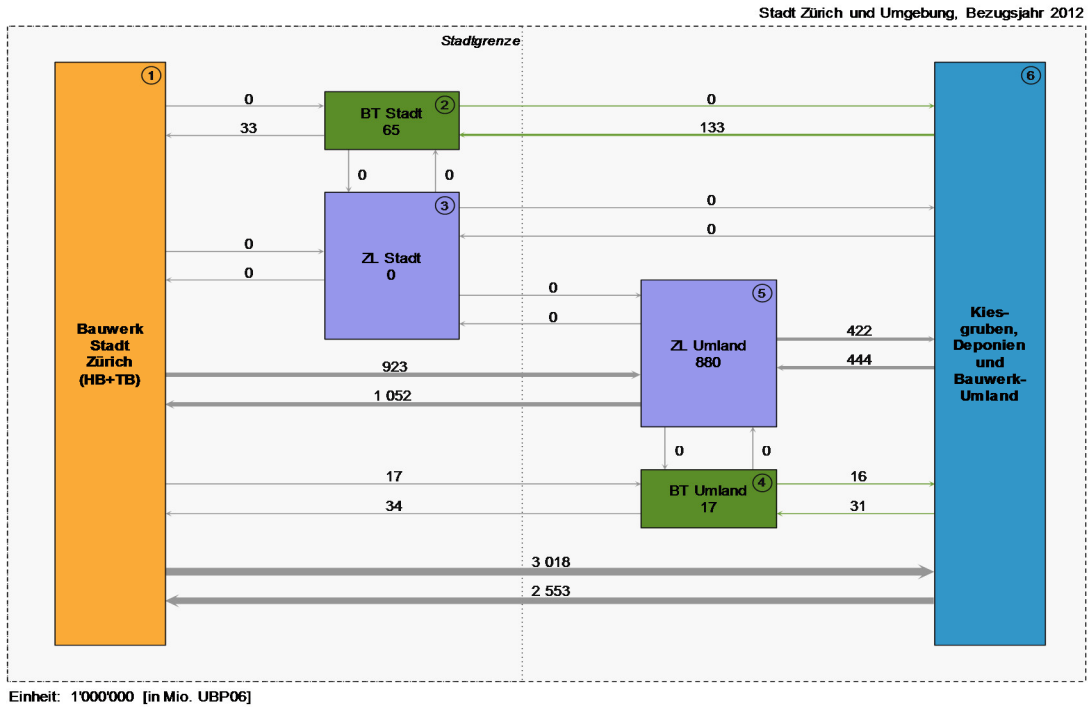


Abbildung 12: Resultierende Umweltbelastungspunkte (UBP'06') für das Szenario HEUTE. Die Umweltbelastungen, welche sich aus den zusätzlichen Umladeprozessen ergeben, sind in den Kästchen angegeben. Angaben in Mio. UBP; Bezugsjahr 2012.

System-Diagramm, aggregierte Werte
Stand vom 27.01.2014

Material	Szenario	Einheit
Total	Szenario ZL+BT	UBP

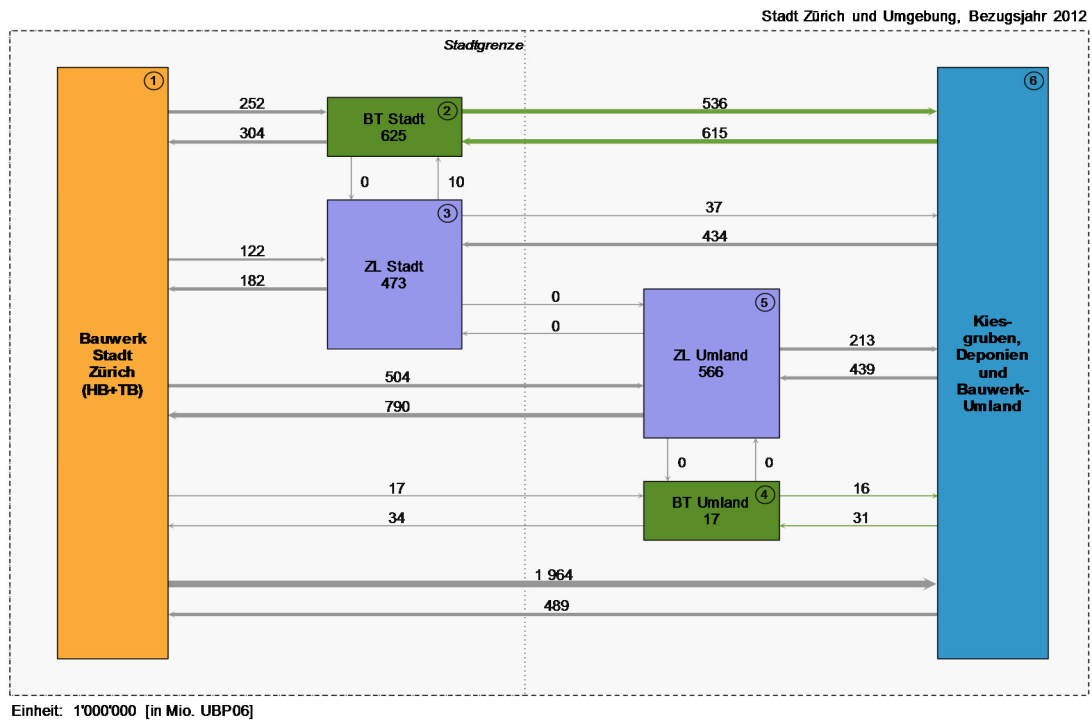


Abbildung 13: Resultierende Umweltbelastungspunkte (UBP'06') für das Szenario ZL+BT. Angaben in Mio. UBP; Bezugsjahr 2012.

3.4 Vergleich der Umweltbelastungen nach Szenarien

Um die Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auf die Umwelt aufzuzeigen, sind in den Abbildungen 14 - 16 die totalen Umweltbelastungen inklusive der Umladeprozesse (Grafiken links) sowie die Differenzierung nach Stadt und Umland (Grafiken rechts) für die vier Szenarien dargestellt. Der Vergleich zeigt bei allen Umweltindikatoren (UBP'06', THG und PE) ähnliche Resultate. Das Szenario ZL (Zwischenlager) schneidet besser ab als die beiden Szenarien HEUTE und BT. Das Reduktionspotenzial zwischen dem Szenario HEUTE und dem Szenario ZL liegt im Bereich von 12 – 13%. Etwas erstaunlich sind die relativ hohen Umweltbelastungen des Szenarios BT. Diese liegen bei den UBP und beim Primärenergieaufwand im Bereich des Szenarios HEUTE. Nur bei den THG ist eine Reduktion gegenüber dem Szenario HEUTE im Umfang von rund 8% zu verzeichnen. Das relativ schlechte Abschneiden des Szenarios BT ist damit zu erklären, dass einerseits die gesamte Streckenlänge etwas zunimmt, weil die Bahn weitere Wege fahren muss als die LKW. Zwar verursacht der Bahntransport geringere spezifische Umweltbelastungen als der LKW-Transport (Tabelle 6), allerdings muss ein zusätzlicher Umlad durchgeführt werden, welcher die „Gewinne“, ausser bei den THG, gerade etwa kompensiert. Der tiefere Wert bei den THG ist auf den Strommix der SBB zurückzuführen, welcher einen hohen Anteil an CO₂-armer Stromproduktion (Wasserkraft) aufweist.

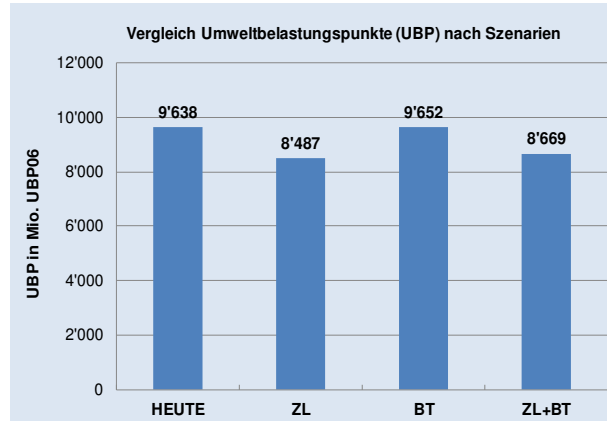
Das Szenario ZL schneidet gegenüber dem Szenario BT deshalb gut ab, weil in diesem Szenario relativ grosse Materialvolumen über die Zwischenlager geführt werden und die Transportdistanzen zwischen den Zwischenlagern und den Baustellen sehr gering sind. Die resultierenden Umweltbelastungen aus den Transporten werden so stark reduziert, dass die Umweltbelastungen aus den Umladeprozessen mehr als kompensiert werden.

Der Vergleich der Verteilung der Umweltbelastungen zwischen Stadt Zürich und Umland (Abb. 14-16) zeigt, dass keines der Szenarien die Umweltbelastung in der Stadt Zürich massgeblich reduziert (dunkelblaue Säulen). Die auf dem Stadtgebiet ausgewiesenen Umweltbelastungen liegen in den Szenarien HEUTE und ZL Stadt auf ähnlichem Niveau und liegen in den Szenarien BT bzw. ZL+BT gar 10 – 15% höher. Die Stadt Zürich exportiert je nach Szenario rund 50 – 65% der Umweltbelastungen aus den Baumaterialtransporten ins Umland, da sie weder über Kiesgruben noch Deponien verfügt.

Wesentlich ausgeprägter sind die szenarioabhängigen Reduktionen im Umland. Hier weist das Szenario HEUTE bei allen Indikatoren die höchsten Werte auf. Das Szenario ZL schneidet wiederum besser ab als das Szenario BT. Interessant ist nun, dass das kombinierte Szenario ZL+BT bei allen Indikatoren am besten abschneidet. Auf der Ebene „Umland“ wird bei diesem Szenario eine Reduktion von 35% bei den THG und von rund 25% bei den UBP und dem PE gegenüber dem Szenario HEUTE erreicht. Die höheren Reduktionsraten im Umland lassen sich damit erklären, dass dort deutlich weniger oder gar keine zusätzlichen Umladeprozesse stattfinden. Damit schlägt im Umland vor allem die szenarioabhängige Reduktion der Transportleistungen auf die Umweltbilanzen durch. Bei einer Umsetzung des Szenarios ZL oder gar des Szenarios ZL+BT würde somit das Umland stärker profitieren als die Stadt Zürich. Zu erkennen ist dies auch anhand der hell- und dunkelblau gefärbten Säulen, die im Szenario ZL+BT beispielsweise beinahe gleich hoch sind, währenddessen dieser Abstand im Szenario HEUTE deutlich ausgeprägter ist.

Resultate

Umweltbelastung gesamte Transportkette inkl. Umlad



Umweltbelastung Stadt Zürich und Umland inkl. Umlad

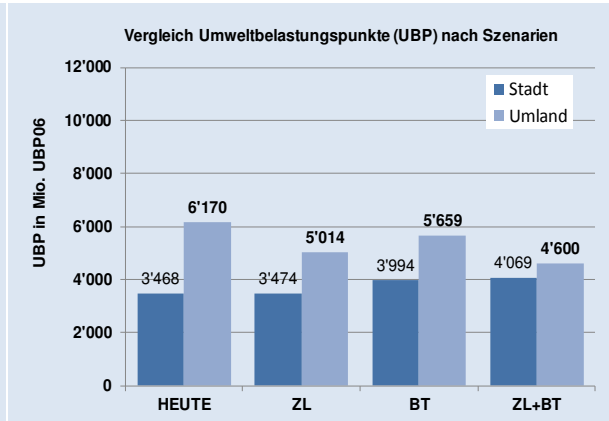
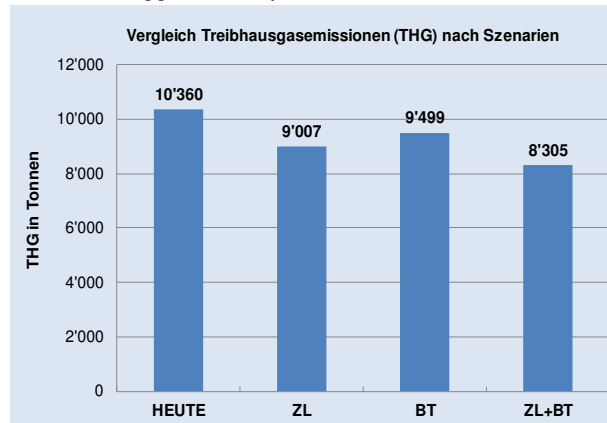


Abbildung 14: Vergleich der Umweltbelastung der vier Szenarien anhand der UBPA'06'. Linke Grafik → Total. Rechte Grafik → Stadt und Umland. Angaben in Mio. UBP.

Umweltbelastung gesamte Transportkette inkl. Umlad



Umweltbelastung Stadt Zürich und Umland inkl. Umlad

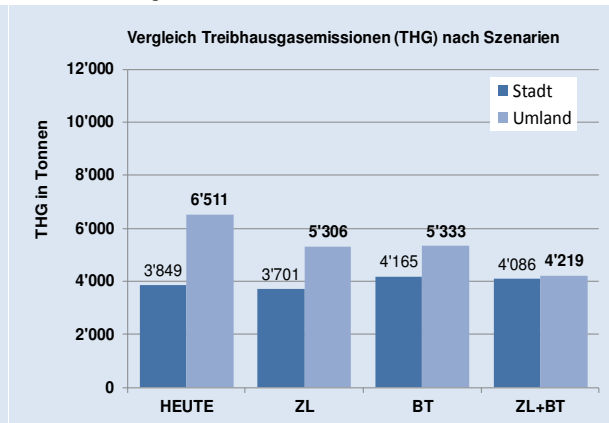
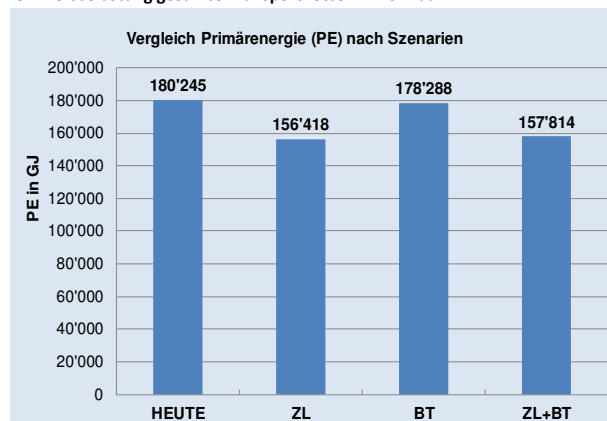


Abbildung 15: Vergleich der totalen Treibhausgasemissionen (THG) in den vier Szenarien. Linke Grafik → Total. Rechte Grafik → Stadt und Umland. Angaben in Tonnen.

Umweltbelastung gesamte Transportkette inkl. Umlad



Umweltbelastung Stadt Zürich und Umland inkl. Umlad

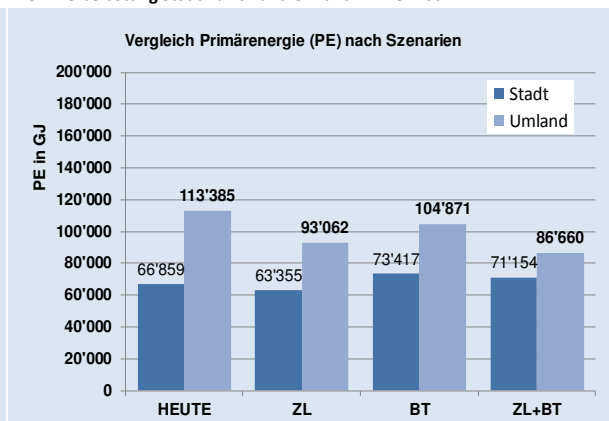


Abbildung 16: Vergleich der totalen Primärenergie (PE) in den vier Szenarien. Linke Grafik → Total. Rechte Grafik → Stadt und Umland. Angaben in Gigajoule.

3.5 Sensitivitätsanalysen

Der Vergleich der totalen Umweltbelastungen der vier Szenarien im Kapitel 3.4 zeigt, welche Potenziale mit einer allfälligen Optimierung der Transportlogistik in der Stadt Zürich und im Umland ausgeschöpft werden könnten. Dabei wurden verschiedene Grundannahmen getroffen (siehe Kapitel 2.1 - 0). Interessant ist nun aber auch zu sehen, welchen Einfluss die Veränderung einzelner Parameter auf das Gesamtsystem hat. Dies wird im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht. In der Tabelle 7 sind die Resultate dieser Analyse dargestellt. In der obersten Tabelle sind zur Übersicht nochmals die totalen Umweltbelastungen (THG, PE und UBP) der vier Szenarien bei einem Auslastungsgrad der LKW-Flotte von durchschnittlich 56% sowie deren Reduktionspotenzial relativ zum Szenario HEUTE (in Prozenten) zusammengefasst. Es ist zu erkennen, dass bei den THG eine maximale Reduktion von rund 22% (Szenario ZL+BT) erreicht werden kann. Bei den anderen Indikatoren, lassen sich maximale Reduktionen von rund 14% bis 16% erzielen. Wird eine höhere Auslastung von 70% eingesetzt (2. Tabelle), dann ist das Reduktionspotenzial etwas geringer. Zudem schneidet jetzt das Szenario ZL+BT nur noch bei den THG am besten ab. Bei den anderen Indikatoren weist das Szenario ZL eine noch etwas bessere Bilanz auf. Allerdings ist beim Vergleich der totalen Umweltbelastungen bereits gut zu erkennen, dass die absoluten Werte bei einer Auslastung von 70% deutlich tiefer liegen als bei einer Auslastung von 56%.

Um dies zu verdeutlichen, sind in der dritten Tabelle die Resultate der Berechnungen des Szenarios HEUTE mit unterschiedlichen Auslastungsgraden (56%, 70% und 100%) zusammengefasst. Es zeigt sich, dass das Reduktionspotenzial durch eine Erhöhung des Auslastungsgrades markant verbessert werden kann. Das theoretische Optimierungspotenzial bei einer Erhöhung des Auslastungsgrades von 56% auf 100% liegt bei rund 40%.

Die weiteren Analysen zum Einfluss von Parametern auf die Umweltbelastungsindikatoren basieren jeweils auf dem Szenario HEUTE mit einem durchschnittlichen Auslastungsgrad der LKW-Flotte von 56%. Die mit hellbrauner Farbe hinterlegten Datensätze basieren jeweils auf den im Szenario HEUTE eingesetzten Parameterwerten.

Bei der Veränderung des Emissionscodes der LKW-Flotte von EURO 3 auf EURO 6 ergibt sich ein maximales Reduktionspotential von rund 26% bei den UBP. Die anderen Parameter reagieren mit rund 10% weniger sensitiv. Für die Szenarienrechnungen wurde jeweils der Emissionscode EURO 5 für die LKW-Flotte eingesetzt. Diese Annahme basiert auf Erkenntnissen, welche im Rahmen der Umweltbaubegleitung der Baustelle «Bettenhaus Triemlispital» erhoben wurden. Die Auswertung der Aushubtransporte zeigte dort, dass im Zeitraum zwischen 2008 bis 2011 rund 70% aller Aushub- und Rückbaumaterialtransporte mittels EURO 5 – Fahrzeugen erfolgten. Im Jahr 2012 waren es bereits 90%. Somit ist die Annahme, dass bis ca. 2015 beinahe sämtliche Baumaterialtransporte mittels EURO 5 – LKW erfolgen, vertretbar. Dies bedeutet wiederum, dass bei der Fahrzeugflotte nur noch wenig Optimierungspotenzial vorliegt.

Wird der Anteil der Vor-Ort-Verwertung von Aushub von 10 auf 90% erhöht, resultiert eine Reduktion der gesamten Umweltbelastungen von rund 27%. Begründen lässt sich diese wie folgt:

Werden sämtliche Umweltbelastungen aus den Transporten und Umladeprozessen von Aushub, Kies und Rückbaustoffe addiert, ergibt dies knapp 12'000 Mio. UBP. Wird der Vor-

Resultate

Ort-Verwertungsanteil beim Aushub von 56% auf 90% erhöht, reduziert sich die Belastung um rund 3'300 Mio. UBP oder 27% der gesamten Umweltbelastung.

Bei einer Vor-Ort-Verwertung von Rückbaumaterial resultiert bei der Umweltbelastung ein entsprechendes Reduktionspotential 32%.

Da diese Szenarien nicht umsetzbar sind und nur zur Überprüfung der Sensivität des Modells dienen, sind die zusätzlichen Umweltbelastungen für die Vor-Ort Aufbereitung des Aushub- bzw. Rückbaumaterials nicht berücksichtigt. Die Umweltbelastungen wären unter Berücksichtigung der Vor-Ort Aufbereitung aber entsprechend höher.

Zusammenfassend zeigen die Resultate aus der Sensivitätsanalyse, dass das System nicht sehr sensitiv auf die Änderung einzelner Parameter reagiert.

Resultate

Tabelle 7: Vergleich der Umweltbelastungen der vier Szenarien und Veränderung der Umweltbelastungen bei der Veränderung des Auslastungsgrades der LKW-Transporte, der Emissionscodes der LKW sowie der Anteile der Vor-Ort-Verwertung der Aushub- und Rückbaumaterialien.

Vergleich der Szenarien bei Auslastungsgrad der LKW von 56%

Szenario		THG Tonnen	PE GJ	UBP Mio. UBP	THG in %	PE in %	UBP in %
Heute	56% Auslastung	12'739	220'798	11'757	100	100	100
Zwischenlager	56% Auslastung	11'008	190'509	10'269	86.4	86.3	87.3
Bahnterminals	56% Auslastung	11'462	211'760	11'402	90.0	95.9	97.0
ZL+BT	56% Auslastung	9'927	185'450	10'114	77.9	84.0	86.0

Vergleich der Szenarien bei Auslastungsgrad der LKW von 70%

Szenario		THG Tonnen	PE GJ	UBP Mio. UBP	THG in %	PE in %	UBP in %
Heute	70% Auslastung	10'360	180'245	9'638	100	100	100
Zwischenlager	70% Auslastung	9'007	156'418	8'487	86.9	86.8	88.1
Bahnterminals	70% Auslastung	9'499	178'288	9'652	91.7	98.9	100.1
ZL+BT	70% Auslastung	8'305	157'814	8'662	80.2	87.6	89.9

Einfluss des Auslastungsgrades der LKW-Transporte

Szenario	Auslastung LKW	THG Tonnen	PE GJ	UBP Mio. UBP	THG in %	PE in %	UBP in %
Heute	56% Auslastung	12'739	220'798	11'757	100.0	100.0	100.0
Heute	70% Auslastung	10'360	180'245	9'638	81.3	81.6	82.0
Heute	100% Auslastung	7'546	131'105	7'123	59.2	59.4	60.6

Einfluss der Emissionscodes des Fahrzeugparks

Szenario	Veränderung Umweltbelastung bei	THG Tonnen	PE GJ	UBP Mio. UBP	THG in %	PE in %	UBP in %
Heute	LKW Euro 3	14'273	243'045	15'082	100	100	100
Heute	LKW Euro 4	12'591	218'628	12'532	88.2	90.0	83.1
Heute	LKW Euro 5	12'739	220'798	11'757	89.3	90.8	78.0
Heute	LKW Euro 6	12'832	224'897	11'103	89.9	92.5	73.6

Einfluss des Verwertung von Aushub vor Ort

Szenario	Anteil Aushubver- wertung vor Ort	THG Tonnen	PE GJ	UBP Mio. UBP	THG in %	PE in %	UBP in %
Heute	10% vor Ort	12'739	220'798	11'757	100	100	100
Heute	30% vor Ort	12'120	210'247	11'183	95.1	95.2	95.1
Heute	60% vor Ort	10'452	181'292	9'716	82.0	82.1	82.6
Heute	90% vor Ort	9'264	160'919	8'636	72.7	72.9	73.5

Einfluss des Verwertung von Rückbaumaterial vor Ort

Szenario	Anteil Rückbaumat.- wertung vor Ort	THG Tonnen	PE GJ	UBP Mio. UBP	THG in %	PE in %	UBP in %
Heute	10% vor Ort	12'739	220'798	11'757	100	100	100
Heute	30% vor Ort	11'543	200'431	10'647	90.6	90.8	90.6
Heute	60% vor Ort	10'079	175'579	9'275	79.1	79.5	78.9
Heute	90% vor Ort	8'662	151'543	7'945	68.0	68.6	67.6

4 Diskussion

Mit dem neu entwickelten Transportlogistikmodell zur Berechnung der mit der Bewirtschaftung des Bauwerks Stadt Zürich verbundenen Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse, Transportleistungen und Umweltbelastungen der Transporte und Umladeprozesse können verschiedene Logistikvarianten gerechnet werden. Das Modell ist derart aufgebaut, dass eine Vielzahl an Szenarien definiert, gerechnet und miteinander verglichen werden können. Die im Modell automatisch generierten Flussschemen und Diagramme erlauben eine relativ schnelle Interpretation der Resultate. Es wird rasch erkennbar, wie sich die Materialflüsse, Transportleistungen und Umweltbelastungen in Abhängigkeit der Szenarien verändern.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts ging es einerseits um die Entwicklung eines funktionsfähigen Modells. Andererseits wurden vier sehr unterschiedliche Szenarien gerechnet, mit deren Hilfe das Spektrum der Optimierungspotenziale hinsichtlich den Transportleistungen und Umweltbelastung aus den Materialtransporten inklusive der damit verbundenen zusätzlichen Umladeprozesse aufgezeigt werden sollte. Zusätzlich wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die Auswirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren bzw. Modellparameter auf das Gesamtsystem zu untersuchen.

Nachfolgend wird nochmals kurz auf die wichtigsten Erkenntnisse eingegangen. Diese werden anschliessend vertieft und mit weiteren Analysen ergänzt. In einem weiteren Kapitel wird auf die Zwischenlager in den einzelnen Stadtgebieten eingegangen. Neben dem Materialumsatz sind hier der Flächenbedarf, die Wahl der Verarbeitungsprozesse sowie die sonstigen Rahmenbedingungen, welche für den Betrieb eines Zwischenlagerplatzes gegeben sein sollten, von Bedeutung.

4.1 Umweltbelastung und weitere relevante Aspekte beim Szenarienvergleich

Die Auswertungen der Resultate aus den Szenarienrechnungen zeigen, dass das maximale Optimierungspotenzial in Bezug auf die Umweltbelastungen je nach Szenario, nach zugrunde gelegter Auslastung der LKW-Flotte und Umweltbelastungsindikator im Bereich von rund 15 – 20% gegenüber dem Szenario HEUTE liegt. Insbesondere das Szenario BT schneidet diesbezüglich relativ ungünstig ab, weil hier die zusätzlichen Umladeprozesse aber auch die längeren Transportstrecken die Gewinne bei den spezifischen Umweltbelastungen teilweise kompensieren. Dieser „negative“ Einfluss schlägt auch beim Szenario ZL auf die Bilanz durch. Da in diesen beiden Szenarien die Zwischenlager und Bahnterminals in der Stadt Zürich liegen, verlagern sich zudem die Umweltbelastungen eher vom Umland in Richtung Stadt Zürich.

Um dies zu verdeutlichen sind in der Abbildung 17 die Umweltbelastungen (nach UBP) für die vier Szenarien und differenziert nach Stadt und Umgebung dargestellt. In der Grafik links sind die UBP für die Transporte (d.h. ohne Umlad) und in der rechten Grafik für die zusätzlichen Umladeprozesse dargestellt. Bei den Transporten ist ersichtlich, dass die Umweltbelastung in der Stadt Zürich beim Szenario ZL und ZL+BT tiefer zu liegen kommt als in den Szenarien HEUTE und BT. Das Szenario BT schneidet nicht wesentlich besser ab als das Szenario HEUTE, weil die Bahnstrecken bis zur Stadtgrenze nur sehr kurz sind. Im Umland sieht dies anders aus. Nun schneidet auch das Szenario BT rund 10% besser ab als das Szenario HEUTE. Die grösste Reduktion, nämlich rund 24%, wird beim kombinierten Szenario ZL+BT erreicht. In der rechten Grafik ist zu erkennen, dass die Umweltlasten aus dem Umlad in den

Szenarien ZL, BT und ZL+BT in dieser Reihenfolge gegenüber dem Szenario HEUTE zunehmen (bei Summierung der hell- und dunkelblauen Säulen). Markant sind die Zunahmen insbesondere in der Stadt, wo sie von 55 Mio. UBP (Szenario HEUTE) auf 1'098 Mio. UBP (Szenario ZL+BT) ansteigen. Beim Vergleich der absoluten Werte fällt zudem auf, dass der Anteil der Umweltbelastungen aus dem Umland in der Stadt Zürich im Verhältnis zu den Transporten in den Szenarien ZL und ZL+BT grösser ist als im Umland.

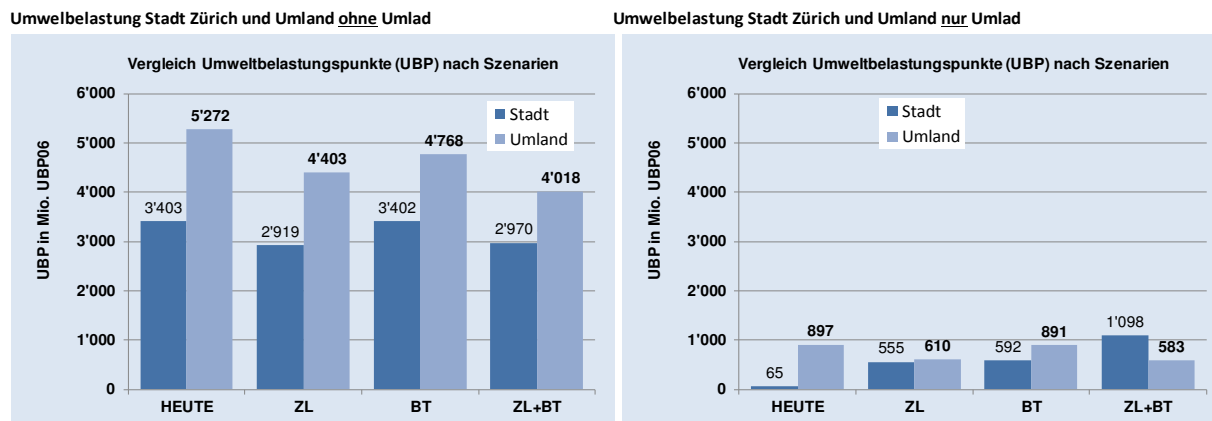


Abbildung 17: Vergleich der Umweltbelastung durch die Transporte (links) und den zusätzlichen Umlad (rechts) in der Stadt Zürich und im Umland. Angaben in Mio. UBP'06'.

Diese Auswertung veranschaulicht nochmals, dass in Bezug auf die Umweltbelastung das Umland bei einer allfälligen Umsetzung der Szenarien stärker profitieren würde als die Stadt Zürich. Allerdings ist zu bedenken, dass die Stadt Zürich aufgrund fehlender Kiesgruben und Deponien ihre Umweltbelastungen grundsätzlich ins Umland exportiert. Durch den Betrieb von Zwischenlagern und Bahnterminals würde sie demnach den Export von Umweltbelastungen reduzieren, wobei sich die Umweltbelastung in der Stadt Zürich insgesamt in etwa auf dem heutigen Niveau bewegen würde (siehe auch Abbildung 15).

Für eine umfassende Beurteilung der verschiedenen Szenarien sind neben der Umweltbelastung weitere wichtige Aspekte wie der Strassenverkehr und die von den LKW-Transporten ausgehenden Lärmemissionen zur berücksichtigen (siehe Kapitel 1.1). Um diesbezügliche Aussagen machen zu können, müssen die Transportleistungen vertiefter analysiert werden.

In der Abbildung 18 sind die Transportleistungen der LKW-Flotte und der Bahn für die gesamte Transportkette (links) sowie differenziert nach Transportleistungen in der Stadt Zürich und im Umland (rechts, nur LKW) für die vier Szenarien illustriert. Hier zeigen sich nun doch sehr deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien. Die totale Transportleistung der LKW-Flotte nimmt bei der Betrachtung der gesamten Transportkette je nach Szenario deutlich ab. Hier schneidet nun das Szenario BT besser als das Szenario ZL ab. Könnten diese beiden Szenarien kombiniert werden (Szenario ZL+BT), dann liesse sich die Transportleistung der LKW-Flotte um erhebliche 38% reduzieren. Auf der Ebene Stadt ergäbe der entsprechende Vergleich eine Reduktion von 32% und im Umland könnten die Transportleistungen um rund 41% gesenkt werden. Andererseits steigen bei den Szenarien BT sowie ZL+BT die Transportleistungen per Bahn (Abbildung 18, links).

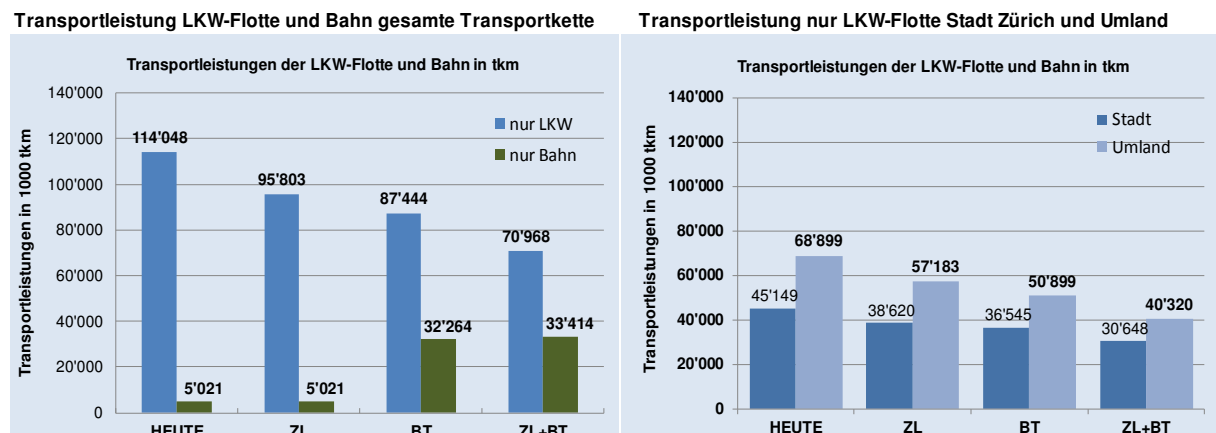


Abbildung 18: Transportleistungen der LKW-Flotte und der Bahn für die gesamte Transportkette sowie differenziert nach Transportleistungen in der Stadt Zürich und im Umland (nur LKW). Angaben in 1000 Tonnenkilometern.

Die Resultate aus diesen Auswertungen können in der Weise interpretiert werden, dass bei einer Umsetzung der Szenarien ZL, BT oder ZL+BT die Anzahl LKW-Fahrten und die mit den LKW-Transporten verbundenen Lärmemissionen relativ stark reduziert werden könnten. Die Lärmemissionen sind in den verwendeten Indikatoren (UBP, THG und PE) nicht berücksichtigt. In der Tabelle 8 sind in der vierten Spalte die aus den Transportleistungen abgeschätzte Anzahl Fahrten für die vier Szenarien aufgeführt. Für die Abschätzung der Anzahl Fahrten wurden eine durchschnittliche Auslastung von 70% und eine Fahrdistanz von 30 km zugrunde gelegt. Für das Szenario HEUTE resultieren somit 253'000 Fahrten. Könnte das Szenario ZL+BT umgesetzt werden, dann könnten immerhin knapp 100'000 Fahrten eingespart werden, was der bereits oben erwähnten Reduktion von rund 38% entspricht.

Tabelle 8: Vergleich der totalen Transportleistung (LKW+Bahn), der Transportleistung der LKW-Flotte und der Anzahl Einzelfahrten per LKW (Basis 70% Auslastung, durchschnittliche Fahrdistanz 30 km), sowie der relativen Veränderung gegenüber dem Szenario HEUTE.

Szenario	Transportleistung Total tkm	Transportleistung nur LKW-Flotte tkm	Fahrten LKW-Flotte Anzahl	Transportleistung Total in %	Transportleistung nur LKW-Flotte in %	Fahrten LKW-Flotte in %
HEUTE	119'069	114'048	253'440	100	100	100
Zwischenlager	100'824	95'803	212'896	84.7	84.0	84.0
Bahnterminals	119'708	87'444	194'320	100.5	76.7	76.7
ZL+BT	104'382	70'968	157'707	87.7	62.2	62.2

Die in der Analyse erfolgte Fokussierung auf die Umweltbelastungen der Transportleistungen deckt nicht alle Auswirkungen einer veränderten Transportlogistik ab. Zu beachten wären z.B. auch die Änderungen der Verkehrsströme (Konzentration auf Standorte Zwischenlager/Bahnterminals) sowie das Umfeld der Transportrouten und ortsfesten Anlagen (Wohnnutzungen, Verkehrssicherheit etc.). Diese umfassende Betrachtung der Aspekte ist ausserhalb des Modells vorzunehmen, da die lokalen Belastungssituationen je nach Standort einer Anlage sehr unterschiedlich sind.

Bevor eine solche Beurteilung durchgeführt werden kann, muss bekannt sein, welche Materialmengen gemäss den modellierten Szenarien in den Zwischenlagern in den vier Stadtgebieten zu erwarten sind (siehe dazu Abbildung 9), beziehungsweise welcher Flächenbedarf die Zwischenlagerstandorte aufweisen müssten, um die im Modell berechneten Materialvolumen umsetzen zu können. Eventuell führt eine diesbezügliche Analyse zum

Resultat, dass mehrere Zwischenlager in einem Stadtgebiet zu betreiben wären. Erst wenn dies bekannt ist, können mit Hilfe des Modells erweiterte Szenarien definiert und gerechnet werden, um die Folgen des Betriebs von solchen Zwischenlagern bezüglich den Umweltbelastungen, Transportleistungen, Lärmemissionen usw. auch auf der lokalen Ebene abschätzen zu können. Im nachfolgenden Kapitel wird näher auf diese Thematik eingegangen.

4.2 Materialumsatz und Flächenbedarf der Zwischenlagerplätze

Im Modell können die Materialvolumen, welche je nach Szenario in den Zwischenlagern umzusetzen wären, für die vier Stadtgebiete abgeschätzt und dargestellt werden (Abbildung 19). Es gelangen rund 230'000 m³ Material in das virtuelle Zwischenlager in Zürich West, im Norden sind es rund 185'000 m³ Material. In Zürich Ost und Süd werden mit rund 150'000 m³ bzw. 130'000 m³ deutlich weniger Material umgesetzt. Bei allen Zwischenlagern liegt der Anteil, der gemäss den Szenarienvorgaben aufbereitet wird (grün markierter Säulenteil) im Bereich von 60%. Gut zu erkennen ist, dass in den Szenarien HEUTE und BT keine Zwischenlager auf dem Stadtgebiet vorgesehen sind. Dafür unterscheiden sich die Materialumsätze in den Szenarien ZL und ZL+BT kaum voneinander. Die Materialumsätze in den Zwischenlagern in Zürich Nord und West dürften deutlich zu hoch sein, um diese jeweils an einem Standort zu bearbeiten.



Abbildung 19: Materialumsatz in den Zwischenlagern der vier Stadtgebiete für die vier Szenarien. Angaben in m³ Festmass.

Um einen Anhaltspunkt zur Bestimmung eines realistischen Materialumsatzes eines potenziellen Zwischenlagerstandortes zu erhalten, kann auf die Informationen der Betreiber von bestehenden Zwischenlagerstandorten im Umland zurückgegriffen werden. Diese setzen jährlich zwischen 50'000 m³ und 150'000 m³ Kies, Aushub- und Rückbaumaterial um. An diesen Standorten wird meist Material zwischengelagert, aufbereitet sowie Beton produziert.

Diskussion

Die Arealfächen dieser Standorte dürften in etwa im Bereich zwischen 5'000 m² und 20'000 m² liegen. Eine genauere Bestimmung ist schwierig, weil oft noch weitere Verarbeitungsprozesse, wie beispielsweise eine Bausperrgutsortier- oder Bodenwaschanlage usw. auf den Arealen betrieben werden. Die grobe Abschätzung führt zur Annahme, dass auf 1 m² Fläche rund 10 m³ Material pro Jahr umgesetzt werden kann. Damit kann der ungefähre Flächenbedarf für die aus den Szenarien berechneten Materialumsätze abgeleitet werden.

In der Abbildung 20 ist der Flächenbedarf in Abhängigkeit der Szenarien dargestellt. Die Grafiken entsprechen grundsätzlich jenen in der Abbildung 19. Die Säulen sind aber um eine Grössenordnung kleiner, weil der Materialumsatz mit dem Faktor 0.1 m²/m³ multipliziert wurde, um den Flächenbedarf zu erhalten. Die resultierenden Flächen liegen je nach Stadtgebiet im Bereich von 13'000 bis 22'000 m². Solch grosse Flächen dürften in der Stadt Zürich kaum mehr zur Verfügung stehen. Dies bedeutet, dass die Parameter im Modell entweder so angepasst werden müssten, dass tiefere Materialumsätze und damit verbunden, kleinere Arealfächen resultieren oder es müssten mehrere Standorte in diesen Stadtgebieten gesucht werden. Ebenso wäre es möglich, dass beispielsweise nur Material zwischengelagert wird. Damit würde die Aufbereitung und Betonproduktion entfallen, welche einen relativ hohen Flächenbedarf haben. Es könnte somit mehr Material pro Flächeneinheit umgesetzt werden.



Abbildung 20: Aus den Abschätzungen abgeleiteter Flächenbedarf der Zwischenlager in den vier Stadtgebieten. Angaben in m².

Hier zeigt sich nun ein weiterer Vorteil des Modells. Die oben geschilderte Methodik erlaubt es, mit Hilfe geänderter Parametereinstellungen die Materialflüsse in neuen Szenarien so einzustellen, dass der Flächenbedarf der verschiedenen Zwischenlager in einen realistischen Bereich zu liegen kommt. Umgekehrt ist es auch möglich, potenzielle Zwischenlagerstandorte zu suchen und anschliessend die entsprechenden Materialflüsse mittels neuer Szenarien zu berechnen. Gleichzeitig können auch die Umweltbelastungen und weitere mit den Transporten verbundenen Belastungen sowohl auf lokaler als auf der übergeordneten Ebene (ganze

Transportkette) quantifiziert werden. Damit ist eine eigentliche Evaluation von Standorten mit Hilfe des Modells möglich.

4.3 Die wichtigsten Erkenntnisse

Im Rahmen des Projektes konnten viele wichtige Erkenntnisse in Zusammenhang mit der Modellierung der Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialtransporte und den damit verbundenen Umweltbelastungen, Zusatzverkehr, Lärmemissionen usw. gewonnen werden. Nachfolgend sind die wichtigsten Aspekte und Erkenntnisse sowie die daraus abgeleiteten Potenziale in Form von kurzen Sätzen zusammengefasst.

Modellspezifische Aspekte

- Es steht nun ein funktionierendes Modell zu Verfügung, mit dem verschiedene Fragestellungen zu Optimierung der Transportlogistik im Bereich der Kies-, Aushub- und Rückbautransporte bearbeitet und berechnet werden können.
- Mit dem Modell lässt sich eine Vielzahl an Szenarien rechnen. Die vier Szenarien HEUTE, ZL (Zwischenlager), BT (Bahnterminal) sowie ZL+BT dienen als Ansatzpunkte für die Entwicklung weiterer Szenarien.
- Dank den im Modell automatisch generierten Grafiken, welche die Verknüpfung der Materialflüsse, Transportleistungen und Umweltbelastungen mittels Fliessschemen aufzeigen, lassen sich die Ergebnisse der Szenarienrechnungen sehr schnell aufzeigen und vergleichen.

Erkenntnisse aus den Szenarienrechnungen

- Mit einer Optimierung der Transportlogistik lässt sich die Umweltbelastung im Vergleich zu Heute (Szenario HEUTE) um maximal 15 – 20 Prozent reduzieren).
- Das Umland profitiert deutlich stärker von der Reduktion der Umweltbelastung durch Optimierung der Transportlogistik als die Stadt Zürich. Im optimalen Fall lässt sich die LKW-Fahrleistung auf dem Gebiet der Stadt Zürich um bis zu 32 Prozent, im Umland um bis zu 41 Prozent - oder 100'000 LKW-Fahrten - reduzieren.
- Eine rein auf die Bereitstellung zusätzlicher Bahnverladestationen ausgerichtete Szenario (Szenario BAHNTERMINAL) führt zu einer Reduktion von Schwerverkehr, aber kaum zu einer Reduktion der Umweltbelastung und hat lediglich eine geringfügige Reduktion des Primärenergieverbrauchs zur Folge. Gründe dafür sind die zusätzlich notwendigen Umladeprozesse und längere Transportstrecken der Bahn.
- Eine ausschliessliche Fokussierung auf die Umweltbelastungspunkte ist allerdings zu einseitig, da sie wichtige Aspekte der LKW-Transporte wie Verkehrssicherheit oder Lärmemissionen in Wohngebieten nicht berücksichtigt.
- Die Erhöhung des Auslastungsgrades der Lastwagentransporte von 50 Prozent (1 Leerfahrt pro Transport) auf ein realisierbares Niveau (70-75%) beinhaltet ein etwa gleich grosses Umweltentlastungspotenzial wie die Optimierung der Transportlogistik. Dieses Potential ist gemäss Aussagen von Transporteuren jedoch ausgeschöpft.

- 2012 genügten bereits rund 90 Prozent der Transportfahrzeuge der Emissionsnorm Euro V. Das durch den Einsatz von Euro VI-Fahrzeugen realisierbare Umweltentlastungspotential ist gering (Reduktion der Umweltbelastungspunkte um ca. 4%).
- Mit einer theoretischen vollumfänglichen Vor-Ort Verwertung der Aushub- oder Rückbaumaterialien liesse sich die Umweltbelastung um maximal 30 Prozent reduzieren. Die relativ geringe Reduktion ist dadurch begründet, dass jeweils auch Kies zugeliefert und Rückbaumaterial abgeführt wird und Material auf der Baustelle umgeladen werden muss.

Mögliche Potenziale

- Durch die Nutzung des Modells kann das Systemverständnis im Bereich der Transportlogistik der betrachteten Baumaterialien deutlich verbessert werden.
- Die Analysen zum Flächenbedarf der Zwischenlager in der Stadt Zürich zeigt, dass die in den Szenarien ZL und BT+ZL definierten Materialflüsse in die Zwischenlager zu hoch sein dürften, bzw. keine derartig grossen Flächen für den Betrieb von Zwischenlagern zur Verfügung stehen dürften. Es müssten wohl weitere Szenarien definiert werden, in denen dieser Aspekt berücksichtigt wird.
- Das Modell kann künftig als Instrument zur Evaluation von möglichen Zwischenlager- oder Bahnterminalstandorten in der Stadt Zürich verwendet werden. Mittels der Berechnung der Umweltbelastungen und Transportleistungen für die gesamte Transportkette als auch auf der lokalen Ebene ist eine Beurteilung der Standorte hinsichtlich dieser Kriterien möglich.

5 Ausblick

Das vorliegende Modell ermöglicht es, Grundlagen für die Entscheidungsfindung betreffend ökologischer und energetischer Optimierung des Baustellenverkehrs auf dem Stadtgebiet und Umland bereitzustellen. Im Vordergrund stehen dabei folgende Fragestellungen:

- Definition der minimal notwendigen raumplanerischen Massnahmen, die zur Erreichung der kantonalen Zielsetzungen „Bahnanteils von 35 Prozent“ beim Massengütertransport notwendig sind.
- Evaluation, Festlegung und Sicherung optimaler Standorte für Bahnverladestationen auf Stufe der kantonalen und regionalen Richtplanung.
- Definition der minimalen Anforderungen an allfällige Standorte für Zwischenlagerung und Aufbereitung von Aushub und Baurestmassen und deren Sicherung (Zwischennutzung, Dauernutzung).

Die Baudirektion des Kantons Zürich ist daran, im südlichen Teil des Kantons und in den Städten Zürich und Winterthur Aushübe über 10'000 m³ auf die Bahn zu bringen. Die Realisierung dieses Vorhabens braucht eine Ergänzung des kantonalen Planungs- und Baugesetzes PBG. Der Kantonsrat hat diesem Vorgehen im Rahmen der Gesamtüberprüfung des kantonalen Richtplanes zugestimmt.

Der Stadt Zürich kommt als massgeblicher Ort von Neubau- und Umbautätigkeit im Kanton eine wichtige Rolle bei der Konkretisierung optimaler Transportkonzepte und -ketten zu, auch wenn der vorliegende Bericht aufzeigt dass der ökologische Nutzen optimierter Bautransporte vor allem im Umland der Stadt anfallen dürfte.

Als nächster Schritt gilt es daher, die erarbeiteten Daten für die zürcherische Materiallogistik ökologisch und wirtschaftlich zu optimieren und sie im kantonalen Konzept zum Bahnanteil zu verankern. Dazu soll eine Arbeitsgruppe aus interessierten Unternehmern, Vertretern der Stadt Zürich und allfällig weiteren Betroffenen unter Federführung des Kantons Lösungen konkretisieren und deren Machbarkeit, Auswirkungen und Kostenfolgen darstellen. Das im vorliegenden Bericht angewandte Modell wird dabei für Lösungsvorschläge die ökologischen Auswirkungen auf die Stadt und den Kanton abbilden.

Gleichzeitig treibt der Kanton die PBG-Änderung und die notwendigen Ausführungsbestimmungen voran. Parallel zum PBG-Prozess sollen zudem die Stadt und der Kanton allfällige konkrete Standorte in oder nahe der Stadt geeignet fördern.

Wichtig ist die Parallelschaltung der erwähnten Arbeiten. Erst das Gesamtbild erlaubt dem Kantonsrat und allenfalls dem Volk einen fundierten Entscheid zum PBG bezüglich Bahnanteil für Kies und Aushub.

6 Literatur

BAFU 2010: *Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990–2035. Aktualisierung 2010*. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1021: 130 S.

Baccini P., Bader H.P., 1996: *Regionaler Stoffhaushalt – Erfassung, Bewertung und Steuerung*. Spektrum Akademische Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

Bruns F., Hofer M. und Ruggli P., 2011: *Mobilität in der Stadt Zürich: Wer bewegt sich wann weshalb womit? Eine Auslegeordnung*. Ernst Basler und Partner AG. Zürich. www.zukunft-urbane-mobilitaet.ch

Bundesamt für Statistik/Bundesamt für Raumentwicklung, 2007: *Mobilität in der Schweiz. Ergebnisse des Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten*. Bern.

Hofer M., Sieber M., Ruggli P., 2011: *Massnahmenkonzept Modalsplit Bahn Kies und Aushubtransporte im Kanton Zürich*. Ernst Basler + Partner AG. Zürich. Im Auftrag der Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich, Amt für Verkehr. Zürich.

Hofer M., 2012: Aktualisierung der Daten zu den Kies- und Aushubtransporten im Kanton Zürich (2010). Excel-Tabelle: „Kiesimp Aushubexp Stadt Zürich aus Studie EBP“, Ernst Basler + Partner AG, Zürich. Ernst Basler + Partner AG. Zürich. Im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft. Zürich.

Koordinationskonferenz der Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren – KBOB, 2012: *Ökobilanzdaten im Baubereich - 2009/1*. Empfehlungen Nachhaltiges Bauen, Stand Juli 2012. Bern.

Löschau, M., 2006: *Input-Output-Analyse als Methode zur stofflichen Bilanzierung komplexer Entsorgungssysteme*. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.

Rubli St., Gugerli H., 2006: Ressourcenstrategie «Bauwerk Stadt Zürich» - Materialflüsse und Energiebedarf bis 2050. Amt für Hochbauten der Stadt Zürich. Zürich. www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen

Mobitool, 2010: *mobitool-Umweltdaten & Emissionsfaktoren v1.1.xls*. mobitool, Zürich. www.mobitool.ch.

Rey U., 2011: *Bauliche Verdichtung durch Ersatzneubau in der Stadt Zürich*. Im Auftrag der Stadtentwicklung Zürich. Zürich.

Rubli St., 2012: *Modellierung der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Überregionale Betrachtung*. Im Auftrag der Umweltämtern der Kantone Aargau, Schaffhausen, St. Gallen, Solothurn, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich. Zürich.

Rubli St., Schneider M., 2007: *Neubau Stadion Letzigrund: Qualitätssicherung in den Bereichen Aushub und Rückbau –Erfassen und Dokumentation der Transporte und Materialflüsse*. Im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich. Zürich.

Ruesch M., Petz C., Hegi Ph., Haefeli U., Rüttsche Ph., 2013: *Güterverkehrsplanung in städtischen Gebieten – Planungshandbuch*. Fachpublikation des NFP 54, Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung. Zürich/Luzern.

Schneider, M.; Rubli, St. *Ressourcenmodell mineralischer Baustoffe auf der Ebene Stadt Zürich*. Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, 2007.

Schweizerische Bundesbahnen- SBB, 2012: *Distanzanzeiger T603 - Distanzzeiger SBB*, SBB. Bern.

Schwierz C., 2013: *Bevölkerungsszenarien Stadt Zürich 2013-2025*. Statistik Stadt Zürich. Zürich.

Statistik Stadt Zürich, 2013: *Statistisches Jahrbuch der Stadt Zürich 2013 - Rauminhalt der Gebäude nach Gebäudeart*. Link zu Tabellensammlung zur Publikation: http://www.stadt-zuerich.ch/content/prd/de/index/statistik/bauen_und_wohnen/gebaeude_und_wohnungen.html#wohnungsbestand_nachgebaeudeart2012. Zürich.

Wyss F., Frischknecht R., 2013: *Ökobilanz von Lastwagen der Emissionsklasse EURO VI*. treez Ltd. im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich. Uster.

Anhang

A.1: Input-Output-Matrix mit Distanzen (Angaben in km)

Distanzen zwischen den Prozessen in Kilometer	VON → NACH															Total_VL_In	Total_VL_Out																				
	BW_N	BW_O	BW_S	BW_W	ZH_N.ZL.roh	ZH_N.ZL.auf	ZH_N.ZL.bet	ZH_N.BT	ZH_O.ZL.roh	ZH_O.ZL.auf	ZH_O.ZL.bet	ZH_O.BT	ZH_S.ZL.roh	ZH_S.ZL.auf	ZH_S.ZL.bet			ZH_S.BT	ZH_W.ZL.roh	ZH_W.ZL.auf	ZH_W.ZL.bet	ZH_W.BT	Kt_N.ZL.roh	Kt_N.ZL.auf	Kt_N.ZL.bet	Kt_N.BT	Kt_O.ZL.roh	Kt_O.ZL.auf	Kt_O.ZL.bet	Kt_O.BT	Kt_S.ZL.roh	Kt_S.ZL.auf	Kt_S.ZL.bet	Kt_S.BT	Kt_W.ZL.roh	Kt_W.ZL.auf	Kt_W.ZL.bet
BW_N	4,1	7,5	10,4	7,3	4,1	4,1	4,1	9,7	11,6	11,6	11,6	-1,0	14,5	14,5	14,5	-1,0	11,4	11,4	11,4	11,4	14,1	14,1	14,1	12,5	18,1	18,1	18,1	18,1	20,1	20,1	20,1	20,1	16,3	16,3	16,3	-1,0	
BW_O		4,5	6,0	8,1	12,0	12,0	12,0	11,2	4,5	4,5	4,5	10,0	10,5	10,5	10,5	-1,0	12,6	12,6	12,6	12,6	17,3	17,3	17,3	18,3	19,5	19,5	19,5	19,5	18,1	24,5	24,5	24,5	-1,0	21,8	21,8	21,8	20,3
BW_S			3,8	8,3	14,2	14,2	14,2	14,2	9,8	9,8	9,8	-1,0	3,8	3,8	3,8	4,2	12,1	12,1	12,1	12,1	20,6	20,6	20,6	23,2	19,5	19,5	19,5	19,5	21,8	21,8	21,8	20,3	24,3	24,3	24,3	-1,0	
BW_W				3,8	11,1	11,1	11,1	9,7	11,9	11,9	11,9	-1,0	12,1	12,1	12,1	-1,0	3,8	3,8	3,8	3,8	6,6	15,8	15,8	15,8	20,1	14,8	14,8	14,8	14,8	17,8	17,8	17,8	-1,0	12,8	12,8	12,8	12,8
ZH_N.ZL.roh					0,5	0,5	5,6	7,5	7,5	7,5	-1,0	10,4	10,4	10,4	-1,0	7,3	7,3	7,3	7,3	-1,0	10,0	10,0	10,0	-1,0	14,0	14,0	14,0	-1,0	16,0	16,0	16,0	-1,0	12,2	12,2	12,2	-1,0	
ZH_N.ZL.auf						0,5	-1,0	7,5	7,5	7,5	-1,0	10,4	10,4	10,4	-1,0	7,3	7,3	7,3	7,3	-1,0	10,0	10,0	10,0	-1,0	14,0	14,0	14,0	-1,0	16,0	16,0	16,0	-1,0	12,2	12,2	12,2	-1,0	
ZH_N.ZL.bet							5,6	7,5	7,5	7,5	-1,0	10,4	10,4	10,4	-1,0	7,3	7,3	7,3	7,3	-1,0	10,0	10,0	10,0	-1,0	14,0	14,0	14,0	-1,0	16,0	16,0	16,0	-1,0	12,2	12,2	12,2	-1,0	
ZH_N.BT								-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
ZH_O.ZL.roh								0,5	0,5	5,5	6,0	6,0	6,0	-1,0	8,1	8,1	8,1	8,1	-1,0	12,8	12,8	12,8	-1,0	15,0	15,0	15,0	-1,0	20,0	20,0	20,0	-1,0	19,4	19,4	19,4	-1,0		
ZH_O.ZL.auf									0,5	5,5	6,0	6,0	6,0	-1,0	8,1	8,1	8,1	8,1	-1,0	12,8	12,8	12,8	-1,0	15,0	15,0	15,0	-1,0	20,0	20,0	20,0	-1,0	19,4	19,4	19,4	-1,0		
ZH_O.ZL.bet										5,5	6,0	6,0	6,0	-1,0	8,1	8,1	8,1	8,1	-1,0	12,8	12,8	12,8	-1,0	15,0	15,0	15,0	-1,0	20,0	20,0	20,0	-1,0	19,4	19,4	19,4	-1,0		
ZH_O.BT											-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0		
ZH_S.ZL.roh										0,5	0,5	0,4	8,3	8,3	8,3	-1,0	16,8	16,8	16,8	-1,0	18,0	18,0	18,0	-1,0	18,0	18,0	18,0	-1,0	18,0	18,0	18,0	-1,0	20,5	20,5	20,5	-1,0	
ZH_S.ZL.auf											0,5	0,4	8,3	8,3	8,3	-1,0	16,8	16,8	16,8	-1,0	18,0	18,0	18,0	-1,0	18,0	18,0	18,0	-1,0	18,0	18,0	18,0	-1,0	20,5	20,5	20,5	-1,0	
ZH_S.ZL.bet												0,4	8,3	8,3	8,3	-1,0	16,8	16,8	16,8	-1,0	18,0	18,0	18,0	-1,0	18,0	18,0	18,0	-1,0	18,0	18,0	18,0	-1,0	20,5	20,5	20,5	-1,0	
ZH_S.BT													-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0		
ZH_W.ZL.roh													0,5	0,5	2,8	12,0	12,0	12,0	-1,0	11,0	11,0	11,0	-1,0	14,0	14,0	14,0	-1,0	9,0	9,0	9,0	-1,0	9,0	9,0	9,0	-1,0		
ZH_W.ZL.auf														0,5	2,8	12,0	12,0	12,0	-1,0	11,0	11,0	11,0	-1,0	14,0	14,0	14,0	-1,0	9,0	9,0	9,0	-1,0	9,0	9,0	9,0	-1,0		
ZH_W.ZL.bet															2,8	12,0	12,0	12,0	-1,0	11,0	11,0	11,0	-1,0	14,0	14,0	14,0	-1,0	9,0	9,0	9,0	-1,0	9,0	9,0	9,0	-1,0		
ZH_W.BT																-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0		
Kt_N.ZL.roh															0,5	0,5	0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0		
Kt_N.ZL.auf															0,5	0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0		
Kt_N.ZL.bet																0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0		
Kt_N.BT																	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_O.ZL.roh																		0,5	0,5	1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_O.ZL.auf																		0,5	0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_O.ZL.bet																			1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_O.BT																				-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_S.ZL.roh																				0,5	0,5	0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_S.ZL.auf																				0,5	0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_S.ZL.bet																					0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_S.BT																						-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_W.ZL.roh																						0,5	0,5	0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_W.ZL.auf																							0,5	0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_W.ZL.bet																								0,5	0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
Kt_W.BT																									0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
Total_VL_In																																					
Total_VL_Out																																					

ACHTUNG:
NUR in die gelben Felder
Einträge machen und keine
grauen Felder
überschreiben oder
ändern.

A. 2: Modellparameter für die vier Szenarien

Tabelle: Modellparameter für die vier Szenarien «Heute»; «Zwischenlager; ZL»; «Bahnterminal; BT»; « Zwischenlager und Bahnterminal; ZL+BT» für das Stadtgebiet Zürich-Nord. ZH. Legende: ZH_N.ZL.roh = Zwischenlager Zürich Nord Rohmaterial; Kt_O.ZL.auf = Zwischenlager Kanton Ost Aufbereitung; BW_W = Bauwerk Stadt Zürich West, KG_S = Kiesgrube Süd; DepA_O = Deponie/Auffüllung Osten Aushubmaterial; I-O-Kies = Input-Output-Bilanzierung von Kies; GA = Gesamtanteil (muss 1 sein).

Wahl Szenario aus 'Def. Sz'		Kies				Aushub				Rückbau-Material			
		0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
NORD		Heute	ZL	BT	ZL+BT	Heute	ZL	BT	ZL+BT	Heute	ZL	BT	ZL+BT
TK in und aus Bauwerk (BW)		Input von (primärer) GK aus ...				Output von Aushub nach ...				Output von RB-Mat nach ...			
ZH_N.ZL.roh						0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.40	0.00	0.40
ZH_N.ZL.auf		0.00	0.00	0.00	0.00								
ZH_N.ZL.bet		0.00	0.10	0.00	0.10								
ZH_N.BT		0.00	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.auf													
ZH_O.ZL.bet													
ZH_O.BT													
ZH_S.ZL.roh						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.auf													
ZH_S.ZL.bet													
ZH_S.BT													
ZH_W.ZL.roh						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.auf													
ZH_W.ZL.bet													
ZH_W.BT													
Kt_N.ZL.roh						0.05	0.05	0.05	0.05	0.80	0.40	0.80	0.40
Kt_N.ZL.auf		0.00	0.10	0.00	0.00								
Kt_N.ZL.bet		0.40	0.20	0.20	0.20								
Kt_N.BT		0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Kt_O.ZL.roh						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kt_O.ZL.auf													
Kt_O.ZL.bet													
Kt_O.BT													
Kt_S.ZL.roh						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kt_S.ZL.auf								0.00				0.00	
Kt_S.ZL.bet													
Kt_S.BT													
Kt_W.ZL.roh						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kt_W.ZL.auf													
Kt_W.ZL.bet													
Kt_W.BT													
Total_VL_In		0.46	0.46	0.51	0.61	0.09	0.14	0.39	0.44	0.80	0.80	0.80	0.80
BW_N	direkte Verwertung					0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
BW_O	direkte Verwertung									0.00			
BW_S	direkte Verwertung												
BW_W	direkte Verwertung												
KG_N	wird auf 1 ergänzt	0.54	0.54	0.49	0.02								
KG_O	aus KG	0.00	0.00	0.00	0.00								
KG_S	aus KG	0.00	0.00	0.00	0.00								
KG_W	aus KG	0.00	0.00	0.00	0.00								
DepA_N	wird auf 1 ergänzt					0.71	0.46	0.36	0.31				
DepA_O	direkt in Deponie					0.00	0.00	0.00	0.00				
DepA_S	direkt in Deponie					0.00	0.00	0.00	0.00				
DepA_W	direkt in Deponie					0.10	0.30	0.15	0.15				
Depl_N	wird auf 1 ergänzt									0.07	0.07	0.07	0.07
Depl_O	direkt in Deponie									0.00	0.00	0.00	0.00
Depl_S	direkt in Deponie									0.03	0.03	0.03	0.03
Depl_W	direkt in Deponie									0.05	0.05	0.05	0.05
I-O-Kies	wird berechnet												
I-O-Aushub	wird berechnet	0.00	0.00	0.00	0.05								
I-O-RB-Mat	wird berechnet	0.00	0.00	0.00	0.32								
Total_PA		0.54	0.54	0.49	0.39	0.91	0.86	0.61	0.56	0.20	0.20	0.20	0.20
GA		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

A. 3: Parametertabelle: Anteil Rohmaterial im ZL in Aufbereitung ZL oder nach Bahnterminal

Wahl Szenario aus 'Def. Sz	Kies				Aushub				Rückbau-Material			
	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Materialflüsse												
Zwischenlager	Heute	ZL	BT	ZL+BT	Heute	ZL	BT	ZL+BT	Heute	ZL	BT	ZL+BT
Von	Nach											
Rohmaterial (Aushub, Rückbau)	<i>Annahme Input Kies: s. Box rechts</i>											
ZH_N.ZL.roh	ZH_N.ZL.auf	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_N.ZL.roh	ZH_O.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.roh	ZH_S.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.roh	ZH_W.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.roh	Kt_N.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.roh	Kt_O.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.roh	Kt_S.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.roh	Kt_W.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.roh	ZH_N.BT	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.roh	Kt_N.BT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.roh	ZH_N.Deponie, wird auf 1 ergänzt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total TK für diesen Teilprozess		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_O.ZL.roh	ZH_N.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh	ZH_O.ZL.auf	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_O.ZL.roh	ZH_S.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh	ZH_W.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh	Kt_N.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh	Kt_O.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh	Kt_S.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh	Kt_W.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh	ZH_O.BT	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh	Kt_O.BT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.roh	ZH_O.Deponie, wird auf 1 ergänzt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total TK für diesen Teilprozess		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_S.ZL.roh	ZH_N.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.roh	ZH_O.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.roh	ZH_S.ZL.auf	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_S.ZL.roh	ZH_W.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.roh	Kt_N.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.roh	Kt_O.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.roh	Kt_S.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.roh	Kt_W.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.roh	ZH_S.BT	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.roh	Kt_S.BT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.roh	ZH_S.Deponie, wird auf 1 ergänzt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total TK für diesen Teilprozess		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_W.ZL.roh	ZH_N.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.roh	ZH_O.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.roh	ZH_S.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.roh	ZH_W.ZL.auf	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_W.ZL.roh	Kt_N.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.roh	Kt_O.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.roh	Kt_S.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.roh	Kt_W.ZL.auf	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.roh	ZH_W.BT	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.roh	Kt_W.BT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.roh	ZH_W.Deponie, wird auf 1 ergänzt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total TK für diesen Teilprozess		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

A.4: Parametertabelle: Anteil aufbereitetes Material Betonproduktion ZL

Wahl Szenario aus 'Def_Sz'		Kies				Aushub				Rückbau-Material			
		0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Materialflüsse Zwischenlager		Heute	ZL	BT	ZL+BT	Heute	ZL	BT	ZL+BT	Heute	ZL	BT	ZL+BT
Aufbereitetes Material		Annahmen: Aufbereitetes Material geht nicht auf die Bahn, sondern wird entweder für Beton eingesetzt oder direkt verwertet (dh zurück auf die Baustelle; = Ergänzung auf 1)											
ZH_N.ZL.auf	ZH_N.ZL.bet	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
ZH_N.ZL.auf	ZH_O.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.auf	ZH_S.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.auf	ZH_W.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.auf	Kt_N.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.auf	Kt_O.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.auf	Kt_S.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.auf	Kt_W.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_N.ZL.auf	Kt_N.Deponie	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ZH_N.ZL.auf	ZH_N.BW, wird auf 1 ergänzt	0.65	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Total TK für diesen Teilprozess		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_O.ZL.auf	ZH_N.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.auf	ZH_O.ZL.bet	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
ZH_O.ZL.auf	ZH_S.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.auf	ZH_W.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.auf	Kt_N.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.auf	Kt_O.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.auf	Kt_S.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.auf	Kt_W.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_O.ZL.auf	Kt_O.Deponie	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ZH_O.ZL.auf	ZH_O.BW, wird auf 1 ergänzt	0.65	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Total TK für diesen Teilprozess		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_S.ZL.auf	ZH_N.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.auf	ZH_O.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.auf	ZH_S.ZL.bet	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
ZH_S.ZL.auf	ZH_W.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.auf	Kt_N.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.auf	Kt_O.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.auf	Kt_S.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.auf	Kt_W.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_S.ZL.auf	Kt_S.Deponie	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ZH_S.ZL.auf	ZH_S.BW, wird auf 1 ergänzt	0.65	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Total TK für diesen Teilprozess		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZH_W.ZL.auf	ZH_N.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.auf	ZH_O.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.auf	ZH_S.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.auf	ZH_W.ZL.bet	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
ZH_W.ZL.auf	Kt_N.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.auf	Kt_O.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.auf	Kt_S.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.auf	Kt_W.ZL.bet	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZH_W.ZL.auf	Kt_W.Deponie	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ZH_W.ZL.auf	ZH_W.BW, wird auf 1 ergänzt	0.65	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Total TK für diesen Teilprozess		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

A.5: Parametertabelle in der Modellkonstanten festgelegt werden können.

Konstanten für das Modell

Zuletzt gerechnete Emi-Einheit: UBP Fehlertext: Vorsicht, diese Emi-Ein
 Der Pfad zu den Rohdaten (wird automatisch hierhin geschrieben): C:\Users\ERM1\Documents\Eigene Dokumente\WertstoffbörselPr

Distanzen

Innerhalb der Zwischenlager km Von Prozess zu Prozess

Platzgrößen

	Faktor	Minimale Platzgröße	Minimaler Umsatz in m3
roh (nur Zwischenlager)	0.10 m ² /m ³	1'500 m ²	15000
auf (Aufbereitung)	0.10 m ² /m ³	1'500 m ²	15000
bet (Betonproduktion)	0.10 m ² /m ³	800 m ²	8000

Zuschlag für Umladen pro Prozess (von Anlieferung Rohmaterial → Aufbereitung → Betonwerk, oder → Bahnterminal)

Wird als Strecke implementiert ... km ... und mit der in diesem Prozess umgesetzten Menge multipliziert

Anfall (als Anteil) von Feinmaterial bei der Aufbereitung von ...

Kies	<input type="text" value="0.00"/>	nicht implementiert, macht Probleme, wenn die Berechnung abgebrochen wird (da diese Mengen iterativ bestimmt werden müssen).
Aushub	<input type="text" value="0.05"/>	wird in Aushubdeponie abgelagert
Rückbaumaterial	<input type="text" value="0.05"/>	wird in Inertdeponie abgelagert
Anteil aufbereitetes RB-Mat	<input type="text" value="0.30"/>	geht aus den ZL_Umland, 5' in das 'Bauwerk Umland, 6' und ist damit dem System entzogen

Dichten für die Umrechnung der Rohdaten aus den statischen Modellen in TONNEN

Kies	<input type="text" value="2.00"/>	Tonnen pro Kubikmeter
Aushub	<input type="text" value="2.00"/>	Tonnen pro Kubikmeter
Rückbaumaterial	<input type="text" value="1.60"/>	Tonnen pro Kubikmeter

Umrechnungsfaktor 'Skalierung Input DATA'

Skalierung m³/m³ Die Daten kommen skaliert aus den statischen Modellen

Skalierungsfaktoren für die Resultate (Tabellen und Grafik)

Tonnen [t]	<input type="text" value="1'000"/>	
Tonnenkilometer [tkm]	<input type="text" value="1'000"/>	
Emissionen	<input type="text" value="1'000'000"/>	Wird im Blatt 'Emi' gesesetzt, hier nicht ändern

Dickefaktor für die Skalierung der Pfeile in der Grafik

Tonnen [t]	<input type="text" value="0.040"/>	
Tonnenkilometer [tkm]	<input type="text" value="0.003"/>	
Emissionen	<input type="text" value="0.005"/>	Wird im Blatt 'Emi' gesesetzt, hier nicht ändern
Tonnen [t] für Grafik_ZL	<input type="text" value="0.100"/>	

Namen für die vier Sätze Parameter von Kies, Aushub und Rückbaumaterial

1	<input type="text" value="Heute"/>
2	<input type="text" value="ZL"/>
3	<input type="text" value="BT"/>
4	<input type="text" value="ZL+BT"/>

Namen für die sechs Szenarien (Kombinationen der vier Sätze Parameter der Materialien)

Szenario A	<input type="text" value="HEUTE"/>
Szenario B	<input type="text" value="ZL"/>
Szenario C	<input type="text" value="BT"/>
Szenario D	<input type="text" value="ZL+BT"/>
Szenario E	<input type="text" value="(offen E)"/>
Szenario F	<input type="text" value="(offen F)"/>

A.6: Beispiel einer Input-Output-Tabelle

Tabelle: Input-Output-Tabelle für das Material Kies. Im Tabellenteil links oben sind die aus den Transferkoeffizienten berechneten Kiesflüsse von den Zwischenlagern und Bahnterminals ins Bauwerk enthalten. Im unteren Tabellenteil (gelb markiert) sind die Kiesflüsse von den Kiesgruben in die Bauwerke sowie in die Zwischenlager und Bahnterminals enthalten.

Kies Massenflüsse	Zwischenlager				Bahnterminals				Bauwerke				Zwischenlager		Bahnterminals		Bauwerke												
	BW_N	BW_O	BW_S	BW_W	ZH_N	ZH_O	ZH_S	ZH_W	KI_N	KI_O	KI_S	KI_W	KG_N	KG_O	KG_S	KG_W	DepA_N	DepA_O	DepA_S	DepA_W	DepL_N	DepL_O	DepL_S	DepL_W	I-O-Aushub	I-O-FRE-Mit	Total_Out	I-O-Out	
BW_N																											608974	608974	
BW_O																												393903	393903
BW_S																												391535	391535
BW_W																												723852	723852
ZH_N.ZwLa.roh																													
ZH_N.ZwLa.auf																													
ZH_N.ZwLa.bet	60897																												
ZH_N.BT	152244																												
ZH_O.ZwLa.roh																													
ZH_O.ZwLa.auf																													
ZH_O.ZwLa.bet																													
ZH_O.BT																													
ZH_S.ZwLa.roh																													
ZH_S.ZwLa.auf																													
ZH_S.ZwLa.bet																													
ZH_S.BT																													
ZH_W.ZwLa.roh																													
ZH_W.ZwLa.auf																													
ZH_W.ZwLa.bet																													
ZH_W.BT																													
KI_N.ZwLa.roh																													
KI_N.ZwLa.auf																													
KI_N.ZwLa.bet																													
KI_N.BT																													
KI_O.ZwLa.auf																													
KI_O.ZwLa.auf																													
KI_O.ZwLa.auf																													
KI_O.ZwLa.auf																													
KI_S.ZwLa.roh																													
KI_S.ZwLa.auf																													
KI_S.ZwLa.auf																													
KI_S.ZwLa.auf																													
KI_S.BT																													
KI_W.ZwLa.roh																													
KI_W.ZwLa.auf																													
KI_W.ZwLa.auf																													
KI_W.BT																													
Total_VL_in	371474	244220	191652	434311																								1241636	608974 393903 391535 723852
BW_N																													
BW_O																													
BW_S																													
BW_W																													
KG_N	10914	27573	78'307	36193		60897	152244						121795	36538														524461	37 79
KG_O		3267						39390	39390	39476																		247437	17 7
KG_S			23403								39154	105714																215256	15 9
KG_W				10981									72385	180963														444992	31 5
DepA_N																													
DepA_O																													
DepA_S																													
DepA_W																													
DepL_N																													
DepL_O																													
DepL_S																													
DepL_W																													
I-O-Kies																													
I-O-Aushub	32943	17613	15820	37305																								103682	
I-O-FRE-Mit	190643	101229	82152	205363																								582387	
Total_in	43857	48454	117531	841778		60897	152244	39390	39390	39476	39154	105714	72385	180963	121795	36538	66963	46984								180963	1535877		
GA_in	608974	393903	391535	723852		60897	152244	39390	39390	39476	39154	105714	72385	180963	121795	36538	66963	46984								180963	3360122		
Zeilensumme	608974	393903	391535	723852		60897	152244	39390	39390	39476	39154	105714	72385	180963	121795	36538	66963	46984								180963	3360122		