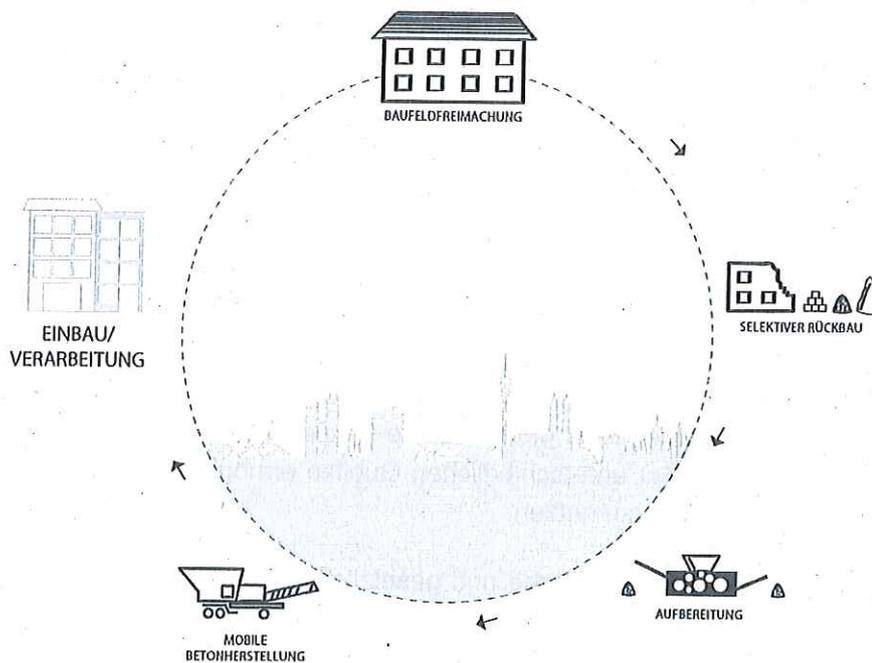


## Herstellung und Verwendungsmöglichkeiten von mineralischen Recycling-Baustoffen in der ehemaligen Bayernkaserne (München)

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades **Master of Science** an der Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt der Technischen Universität München.



(eigene Darstellung)

**Lehrstuhl**

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion

**Betreuer**

**Eingereicht von**

**Eingereicht am**

9. Mai 2019 in München

## Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Planung einer Baufeldfreimachung auf einem ehemaligen Kasernenareal in München, in deren Rahmen erstmalig ein „Vor-Ort“-Recycling-Projekt von der Landeshauptstadt München konzipiert wurde. Dabei sollen mineralische RC-Baustoffe im Sinne einer Kreislaufwirtschaft aus dem Abbruch aufbereitet und für die geplante Neubebauung bereitgestellt werden, um eine effiziente Substitutionsquelle für Primärrohstoffe zu schaffen. Gleichzeitig soll diese Arbeit die auch in der Baubranche zunehmende Notwendigkeit von ressourcenschonenden Maßnahmen verdeutlichen.

Das Gelände der Bayernkaserne ist ca. 48 ha groß und besteht derzeit (noch) aus einem Gebäudebestand von ca. 50 Häusern, der bis Ende 2024 sukzessiv abgebrochen wird. Auf dem Areal soll ein großflächiges Neubaugebiet entstehen. Im Zuge des Abbruchs fallen 1,2 Mio. Tonnen Bauschutt und Boden an, die als potentielles Sekundärrohstofflager dienen. Nach Inkrafttreten des Bebauungsplans Anfang 2019 konnte nun auch der Materialbedarf für den Neubau abgeschätzt und somit mögliche Stoffströme aufgestellt werden.

Für die detaillierte Projektvorstellung in dieser Arbeit wurden Erkenntnisse aus aktueller Literatur gewonnen, rechtliche Grundlagen recherchiert, vorliegende Angebote und Leistungsverzeichnisse der Stadt ausgewertet, Experteninterviews geführt sowie fundiertes Wissen aus Ortsbegehungen erlangt. Die Konsolidierung all dieser unterschiedlichen Quellen ermöglicht es, die Arbeit auch als Leitlinie für weitere RC-Bauvorhaben zu nutzen.

Diese Arbeit zeigt technische, umweltpolitische und gesetzliche Rahmenbedingungen für die Planung einer Recycling-Konzeption im Bau detailliert auf. Auf dieser Grundlage konnten die konkreten Umsetzungsmöglichkeiten für das Projekt Bayernkaserne beschrieben werden. Eine anschließende ökonomische wie ökologische Berechnung der relevanten Faktoren konnte herausstellen, dass das geplante Vorhaben nicht nur umweltschonender, sondern auch wirtschaftlich profitabler als konventionelle Beseitigungsszenarien von Bauabfällen ist. Somit können die zu erwartenden Einwände gegen die Durchführung eines solchen Recycling-Projekts entkräftet werden – die im Kreislaufwirtschaftsgesetz festgeschriebene Bedingung der technischen Möglichkeit und wirtschaftlichen Zumutbarkeit ist nachweislich vollumfänglich erfüllt. So ist die Stadt München nach geltender Rechtslage dazu verpflichtet, das geplante Recycling-Vorhaben umzusetzen.

Die positiven Ergebnisse der verwertbaren Baustoffmengen sind auch quantitativ erheblich; durch die phasenweise Umsetzung der Konzeption mit selektivem Rückbau, Aufbereitung und Herstellung von Sekundärrohstoffen können aus 1,2 Mio. Tonnen „Abfall“ je 200.000 Tonnen RC-Schüttmaterial, -Substrate und -Beton produziert und neu eingesetzt werden.

Die Summe der Resultate verdeutlicht die Wichtigkeit einer Akzeptanzförderung für Projekte im Sinne der Kreislaufwirtschaft durch Aufklärung und Netzwerkarbeit. Diese Arbeit liefert klare Argumente und Nachweise über die Vorteile und Qualitäten von RC-Material, die im Bausektor dringend zu kommunizieren sind, um bestehende Vorbehalte der Branche auszuräumen und so einen perspektivisch attraktiven Markt für RC-Baustoffe herzustellen.

## 5 Einsatzmöglichkeiten von RC-Materialien beim Bauvorhaben ehem. Bayernkaserne

Aus den generellen Verwertungsmöglichkeiten sollen nunmehr konkrete Verfahrensschritte für das hier vorliegende Bauvorhaben abgeleitet werden.

### 5.1 Baufeldfreimachung

Die ursprüngliche Konzeption hinsichtlich der Baufeldfreimachung der Bayernkaserne bestand darin, die hierfür notwendigen Maßnahmen unmittelbar im Anschluss an den Besitzübergang (Juli 2011) bis 2014 fertigzustellen. Nachdem seinerzeit noch keine Kenntnisse hinsichtlich des städtebaulichen Entwurfs der nachfolgenden Neubebauung vorlagen, sah die ursprüngliche Konzeption keine umfassende Verwertung der Abbruchmassen vor. Die Problematik hinsichtlich der Kampfmittelbelastung, die praktisch einen gesamten oberflächigen Bodenaustausch erfordert, wurde erst im Zuge der ersten Maßnahmen beim Leitungsausbau erkennbar. Damit fehlten bis 2014 die Voraussetzungen für eine aufwändige Aufbereitung von Abbruchmaterial (LHM 2018a, S. 42).

Aufgrund einer gleichzeitig stattfindenden intensiven Zwischennutzung des Areals, das von 2012 - 2017 eine zentrale Rolle als Aufnahmezentrum für Asylbewerber einnahm und in Teilen noch bis 2024 als Beherrbergungsstätte für Flüchtlinge und wohnungslose Personen genutzt wird, wurde die Baufeldfreimachung 2014 vorerst beendet. Sie erfolgt nunmehr überwiegend von 2019 bis 2024 (LHM 2018a, S. 44).

Seit März 2019 liegt ein rechtsverbindlicher Bebauungsplan vor, so dass nunmehr Planungssicherheit hinsichtlich der künftigen Nutzung gegeben ist (LHM 2019a, S. 169). Ab 2020 soll mit den Neubaumaßnahmen begonnen werden. Um Zwischennutzung, Baufeldfreimachung und Neubau ohne gegenseitige Behinderung parallel zu ermöglichen, wurde das Areal in fünf Abbruchphasen unterteilt. Jede Phase wiederum ist in Teillöse aufgeteilt und wird im Rahmen der Auftragserteilung an Bieter getrennt nach Art oder Gewerk vergeben. Die Aufteilung entspricht den vergaberechtlichen Vorgaben gemäß § 97 GWB, wonach bei der Vergabe öffentlicher Aufträge mittelständische Interessen vornehmlich zu berücksichtigen sind und lässt zu, dass auf kurzfristige Planänderungen gegebenenfalls noch reagiert werden kann. Die jeweiligen Lose werden gemäß den Vergabebestimmungen im Anwendungsbereich der Richtlinie 2014/24EU VOB/A EU europaweit ausgeschrieben. Für die Entscheidung hinsichtlich der Verfahrensart ist der Gesamtauftragswert der Baumaßnahme maßgebend (§ 1 Abs.2 S.1 EU VOB/A, § 106 GWB, § 3 VgV), so dass auch Lose mit Auftragswerten unterhalb des derzeit maßgebenden Schwellenwerts (derzeit 5.548.000 €) im Rahmen eines europaweiten Verfahrens zu vergeben sind (LHM 2018a, S. 32). In den Vergabeverfahren sollen Leistungen ausgeschrieben werden, die speziell auf eine Umsetzung des Recycling-Konzeptes ausgerichtet sind, so z.B. ein selektiver Rückbau sowie diverse Aufbereitungstechnologien.

Der Abbruch wird, wie aus Abbildung 16 ersichtlich ist, in mehreren Phasen durchgeführt. Die Phasen werden organisatorisch für die bildliche Darstellung in Plänen mit Farben (blau, lila, orange, gelb) bezeichnet (LHM 2018a, S. 44). Eine genaue Darstellung ist als Anlage 15.3 beigefügt.

Diejenigen Gebäude des Altbestands, die für eine Zwischennutzung als Unterkünfte für Asylbewerber von vorneherein nicht in Betracht kamen, wurden bereits 2014 abgebrochen (LHM 2018a, S. 43). Die Gebäude dieser Phase („weiß“) sind deshalb im Lageplan in der Abbildung 16 nicht farbig hinterlegt. Die Nummern der Gebäude sind gemäß Anlage 15.3 ersichtlich.

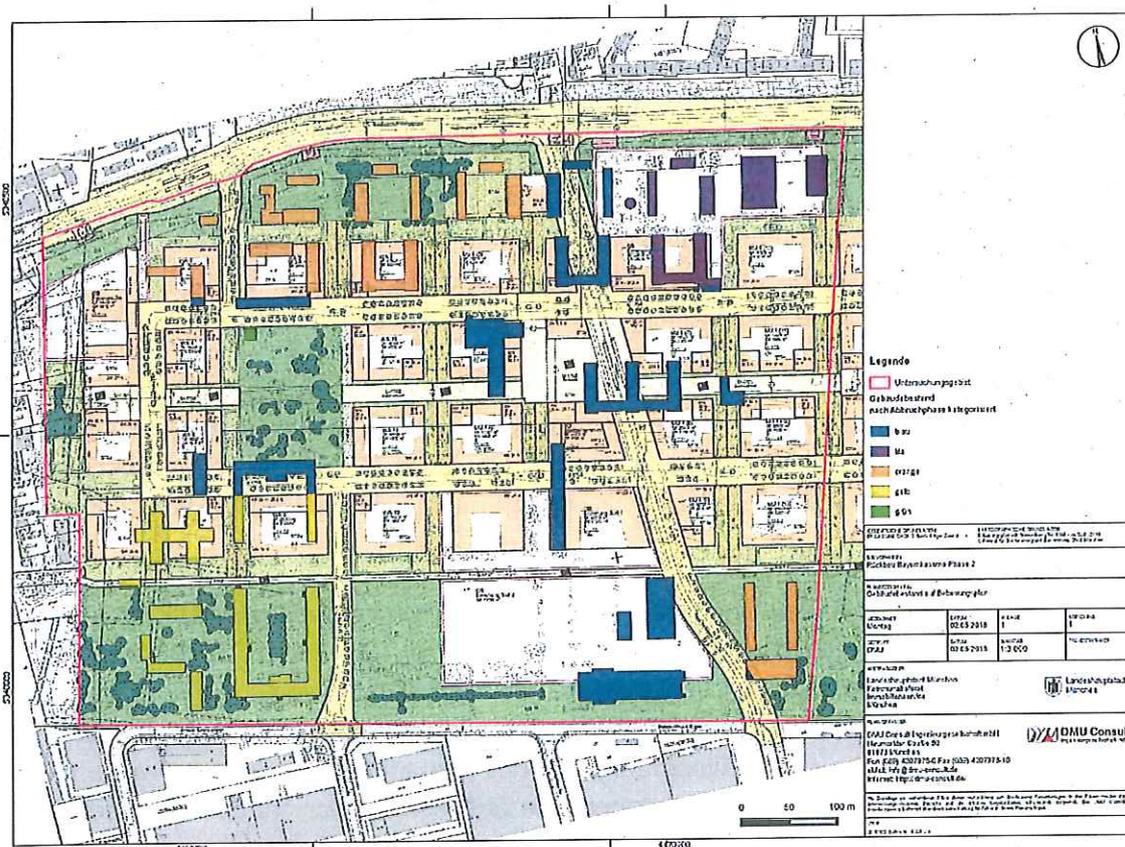


Abbildung 16: Abbruchphasen 2014 bis 2024 (LHM 2018a, S. 44)

Beabsichtigt war, die Abbruchphase in folgenden Zeiträumen durchzuführen. Der Beginn der jeweiligen Phase ist gleichbedeutend mit dem Ende der Zwischennutzung (LHM 2018a, S. 44).

- Phase blau: Beginn 2017 Ende 2019
- Phase lila: Beginn 2020 Ende 2022
- Phase orange: Beginn 2021/23 Ende 2024
- Phase gelb: Beginn 2023 Ende 2024

Aufgrund von in dieser Größenordnung nicht erwarteten Kampfmittelfunden (Nov. 2018 bis März 2019) verzögert sich die Baufeldfreimachung erheblich. Die Abbruchphase blau hätte in der ersten Jahreshälfte 2019 abgeschlossen werden sollen. Im unmittelbaren Anschluss wäre mit dem Bau eines Schulbaukomplexes und mit dem Bau der Erschließung begonnen worden. Die Neubewertung der Gefährdungslage macht es jedoch erforderlich, die Arbeiten der Baufeldfreimachung künftig ausschließlich unter Aufsicht eines Kampfmittelräumdienstes durchzuführen. Die vom Kampfmittelräumdienst vorgegebenen Sicherheitsabstände (50 m) beschränken die Möglichkeit, den Verzug mit der zusätzlichen Beauftragung weiterer Gewerke wettzumachen. In der Folge verschieben sich sämtliche Fristen um bis zu ein Jahr.

Im Rahmen von Baufeldfreimachung und Neubebauung fallen erhebliche Mengen an mineralischen Baustoffen an. Von Relevanz ist für diese Arbeit nur dasjenige Material, das im Rahmen der Baufeldfreimachung anfällt, dies sind ca. 1,2 Mio. t. Etwa die Hälfte davon ist für nachfolgende bautechnische Zwecke ungeeignet und muss abgefahren werden (Mettke 2018, S. 23).

Aus dem restlichen Material (600.000 t) sollen Zuschlagstoffe für Beton, Substrate für den Landschaftsbau sowie Schüttgut für den Straßen- und Wegebau gewonnen und nach Aufbereitung vollständig vor Ort wiedereingesetzt werden.

Dabei soll auch RC-Beton produziert und bei Hochbaumaßnahmen (Abbildung 17) eingesetzt werden. In München sind noch keine Beispiele bekannt, die eine solche Strategie verfolgen.



### 5.7.1 Konzept

Im Rahmen der Baufeldfreimachung werden ca. 1,2 Mio. t Material bearbeitet. Etwa die Hälfte davon könnte beim anschließenden Neubau eingesetzt werden (siehe Abbildung 23). Der Stoffstrom des Neubaus ist nicht Gegenstand dieser Arbeit und soll nur vergleichend in Bezug auf die Mengen des Abbruchs dargestellt werden. In Anlehnung an Abbildung 7 wurde überschlägig der mineralische Rohstoffbedarf von 3,9 Mio. t<sup>1</sup> geschätzt. Der Neubau ist jedoch insoweit von Bedeutung, als dort 600.000 t an unterschiedlichem Material aus der Baufeldfreimachung Verwendung finden sollen. Bezüglich dieser Baustoffe gibt es bislang keine Nachfrage. Die Planungen für die Einzelbauvorhaben und für die Erschließungen sind noch in der Vorbereitung und inhaltlich wie zeitlich mit den Abfolgen der Baufeldfreimachung noch nicht endgültig abgestimmt. Demgemäß sind auch noch keine Bauleistungen für diese Neubauprojekte ausgeschrieben. Insbesondere die Bauherren der öffentlichen Hand sollen im Vorfeld darauf hingewiesen werden, dass in den Ausschreibungen entweder bevorzugt RC-Produkte oder jedenfalls diese als gleichwertig mit Primärbaustoffen angeboten werden sollen (siehe Kap. 3.2.4). Nachdem die Stadt selbst Bauherr verschiedener Maßnahmen ist, sollte sie alle RC-Produkte entsprechend ihrer Eignung auch einsetzen. Den privaten Bauherren sollte vorab ein Baustoffkatalog hinsichtlich Art, Menge und Zeitraum der möglichen Verfügbarkeit ausgehändigt werden.

---

<sup>1</sup> 15.000 zukünftige Einwohner \* 260 t/Einwohner (Gugerli 2009, S.8) = 3,9 Mio. t

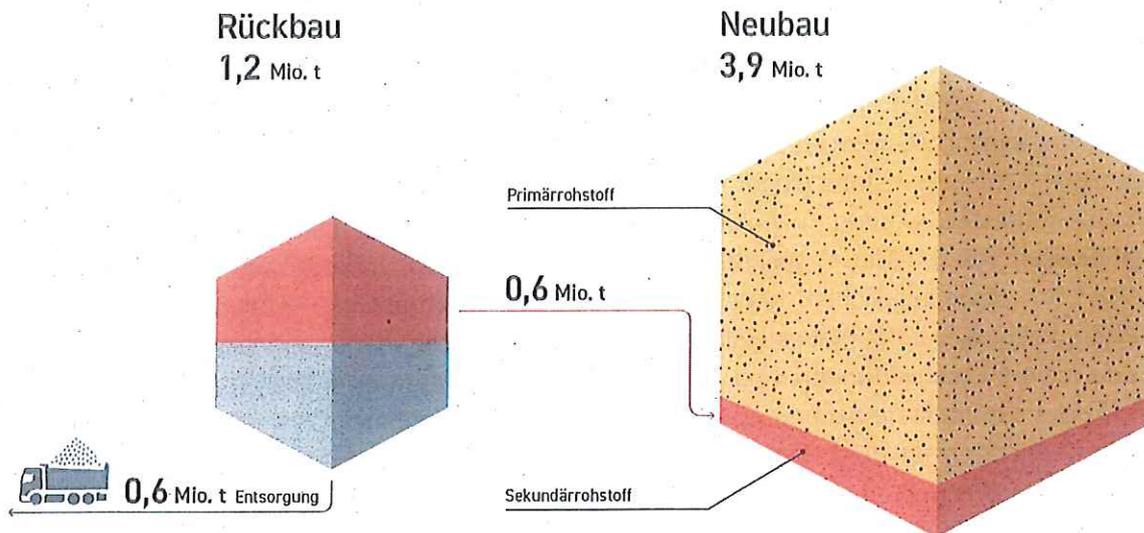


Abbildung 23: Stoffstrom infolge der Baufeldfreimachung (eigene Darstellung)

Im Idealfall würden der Stoffstrom Abbruch und der Stoffstrom Neubau unmittelbar ineinandergreifen. Nachdem die Baufeldfreimachung jedoch Voraussetzung für den Neubau ist, fallen Baustoffe vorab an, für die es zu diesem Zeitpunkt noch keine Verwendung gibt. Eine sofortige Abfuhr wäre zwar logistisch die einfachste Lösung, widerspräche aber den Zielsetzungen des KrWG und wäre zudem sehr teuer (siehe Kap. 6.2).

Demnach ist eine entsprechende Struktur einzurichten, wonach jedweder verwendbare Baustoff zunächst gelagert wird. Nur diejenigen Stoffe sind abzufahren, für die es nach aktueller Einschätzung keine Verwendung geben wird.

Das Konzept muss somit so ausgerichtet werden, dass solche Baustoffe vor Ort herzustellen und auf Jahre vorzuhalten sind, bei denen auch ohne Detailkenntnis der Planung anzunehmen ist, dass sich hierfür entsprechende Einsatzmöglichkeiten ergeben werden. Die Annahme wird dadurch unterstützt, dass die Stadt nach den Grundsätzen des KrWG als Abfallerzeuger zu einer hochwertigen Wiederverwertung verpflichtet ist und somit, nachdem die lokalen Rahmenbedingungen vorliegen, auch die entsprechenden Einsatzmöglichkeiten finden muss. Lediglich der konkrete Bedarf ist noch offen, so dass die Haufwerke derzeit nur mit der Prognose einer künftigen Verwendbarkeit hergestellt werden.

Tabelle 24: Stofffluss Baustoffe mit Zuführung zur Einsatzstelle (eigene Darstellung)

Baustoffe nach Lagerung mit Zuführung zum Einsatzort											
RC-B	Mix B	Kies	Rollage	MixB	Mix Z	Ziegel	Boden	Schrop	Kies	Splitt	Mix B
Rückbau	Rückbau	Aushub	Aushub	Rückbau	Rückbau	Rückbau	Aushub	Aushub	Aushub	Systemverlust aus Brechen RC B+RC Mix	
Brechen	Brechen			Brechen	Brechen	Brechen					
0/16 0/32	0/16 0/32	8/22		0/8	0/8	0/8			8/22		
Sieben	Sieben	Sieben	Sieben	Sieben	Sieben	Sieben	Sieben		Sieben		
lagern	lagern	lagern	lagern	lagern	lagern	lagern	lagern	lagern	lagern	lagern	lagern
Mischanlage Beton			ungebunden vermischen					Einbau differenziert			
Zement von extern			Option 50.000				Option 60.000	16/22	0/32	0/2	0/2
80.000	30.000	90.000	30.000	50.000	10.000			10.000	170.000	10.000	10.000
200.000			200.000					200.000			
Einbau gebunden			Einbau geschüttel/aufgetragen					Einbau geschüttel			
RC-Beton			Substrate					Schüttgut			
Stadt Verkauf	Stadt	Eigenbedarf	Stadt	Stadt	Verkauf			Stadt	Stadt	Stadt	
Hochbau	Infrastruktur	Logistik	Substrat A nicht überbaubar	Substrat B Rasensubstrat überbaubar	Tiefgaragen Untersubstrat			Frostschutz Straße		Verfüllen	

RC-Beton 0/16	RC-Beton 0/16	RC-MIX 0/16	Rollage 50.000	Rollage	Rollage	Kies 170.000	Feinkorn 20.000
ZIE Art.20 BayBO	Ohne Norm	Ohne Norm	RC Mix Z 0/8 mm 20.000	RC Mix Z 0/8 mm 15.000	RC Mix Z 0/8 mm 15.000	Schroppen 10.000	
Hochbau konstr	Sauberkeits schicht	Block steine	RC Mix B 0/8 mm 5.000	RC Mix B 0/8 mm 15.000	RC Mix B 0/8 mm 10.000		
Freizeit heim Schulbau	Rückstützen	Lagerboxen	Boden 5.000	Boden 40.000	Boden 15.000		
			Ziegel 10.000				
150.000	50.000	50.000	90.000	70.000	40.000		
200.000			200.000			200.000	

### 5.7.8 Terminliche Abfolge Rückbau/Neubau

Die Baustoffe fallen im Zeitraum 2019 bis 2014 kontinuierlich an. Eine Lagerung ist längstens bis 2028 möglich. Anhand der Rahmenbedingungen in Bezug auf die Bauabschnitte, Erschließung, Zwischennutzung und restlichen Rückbauten ergeben sich die erforderlichen Lagerkapazitäten. Es ist anzustreben, die entsprechenden Baustoffe zeitgleich mit dem Neubau kontinuierlich zum Einsatz

zu bringen. Der Neubau beginnt im Jahr 2020 und soll Ende 2028 fertiggestellt werden. Bebaut wird eine Fläche von 120.000 m<sup>2</sup> verteilt auf 30 Baufelder (vier weitere Baufelder sind am östlichen Rand in privater Hand). Ein Baufeld ist im Mittel 4.000 m<sup>2</sup> groß. Bei einem kontinuierlichen Bauablauf werden 3 Baufelder je Jahr fertiggestellt bzw. 12.000 m<sup>2</sup> Grundstücksfläche überbaut (Drees und Sommer 2018, S. 3). Parallel hierzu werden auch die Erschließungsmaßnahmen durchgeführt, wofür Schüttmaterial verwendet wird.

Ab 2025 muss mit der kontinuierlichen Räumung der Lagerflächen begonnen werden, um bis 2028 alle Flächen geräumt übergeben zu können. Die nachfolgende Tabelle 25 zeigt den zum gegebenen Zeitpunkt entstehenden Fortschritt der Neubautätigkeit sowie die Überschneidung mit den Rückbaumaßnahmen der Abbruchphasen „blau“ bis „gelb“. Mitte 2024 soll die Zwischennutzung der noch als Unterkünfte genutzten Gebäude beendet werden.

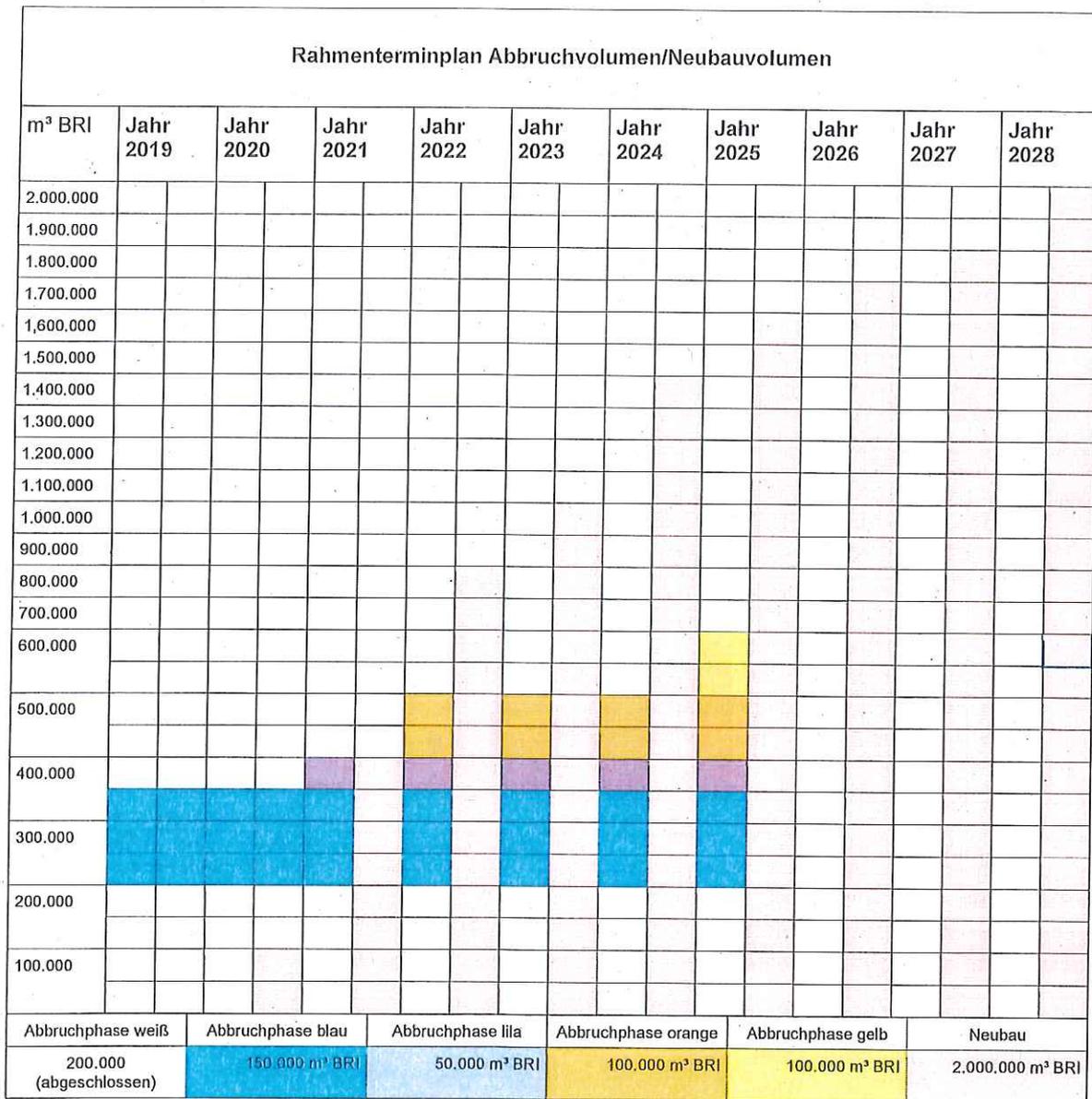
Bei der Ermittlung des Bauvolumens des Neubaus (ca. 2 Mio. m<sup>3</sup> BRI) werden die Daten aus dem Bebauungsplan und der textlichen Begründung herangezogen (LHM 2019b, S.107):

- ca. 15.000,0 Bewohner
- ca. 6.000,0 Anzahl der Wohnungen (Faktor 2,5)
- ca. 70,0 m<sup>2</sup> mittlere Größe einer Wohnung (BGF)
- 420.000,0 m<sup>3</sup> Summe aller Wohnungen
- 3,0 m Geschosshöhe
- 1.260.000,0 m<sup>3</sup> Bruttorauminhalt über Gelände
- 120.000,0 m<sup>2</sup> überbaute Fläche
- 6,0 m Geschosshöhe Untergeschoss
- 720.000,0 m<sup>3</sup> Bruttorauminhalt unter Gelände
- 1.980.000,0 m<sup>3</sup> Bruttorauminhalt gesamt

Die Baustoffe können auf dem Gelände bis zur Anforderung an den konkreten Einbau gelagert werden. Es wird davon ausgegangen, dass das Potenzial des vorhandenen Rohstofflagers zunächst nicht erkannt und die Nachfrage aufgrund genereller Akzeptanzprobleme bei RC-Material nur zögerlich anlaufen wird. Nachdem es in Deutschland grundsätzlich keine Engpässe bei der Bestellung von Baustoffen gibt, dürften vielen Bauherren die Potenziale von Sekundärrohstoffen, auf deren Vorhandensein der Markt derzeit noch nicht angewiesen ist, unbekannt sein. Sobald sich die Eignung in der Praxis bestätigt, wird voraussichtlich eine kontinuierliche Nachfrage einsetzen. Zudem sieht der Bebauungsplan an verschiedenen Orten den Einbau von Substraten vor, ein typisches Produkt, das aus rezykliertem Material hergestellt werden kann (z.B. LHM 2019b; S. 120, 165, 169).

Der Bedarf an Substraten ist somit teilweise schon aus den Vorgaben des Bebauungsplans gesichert.

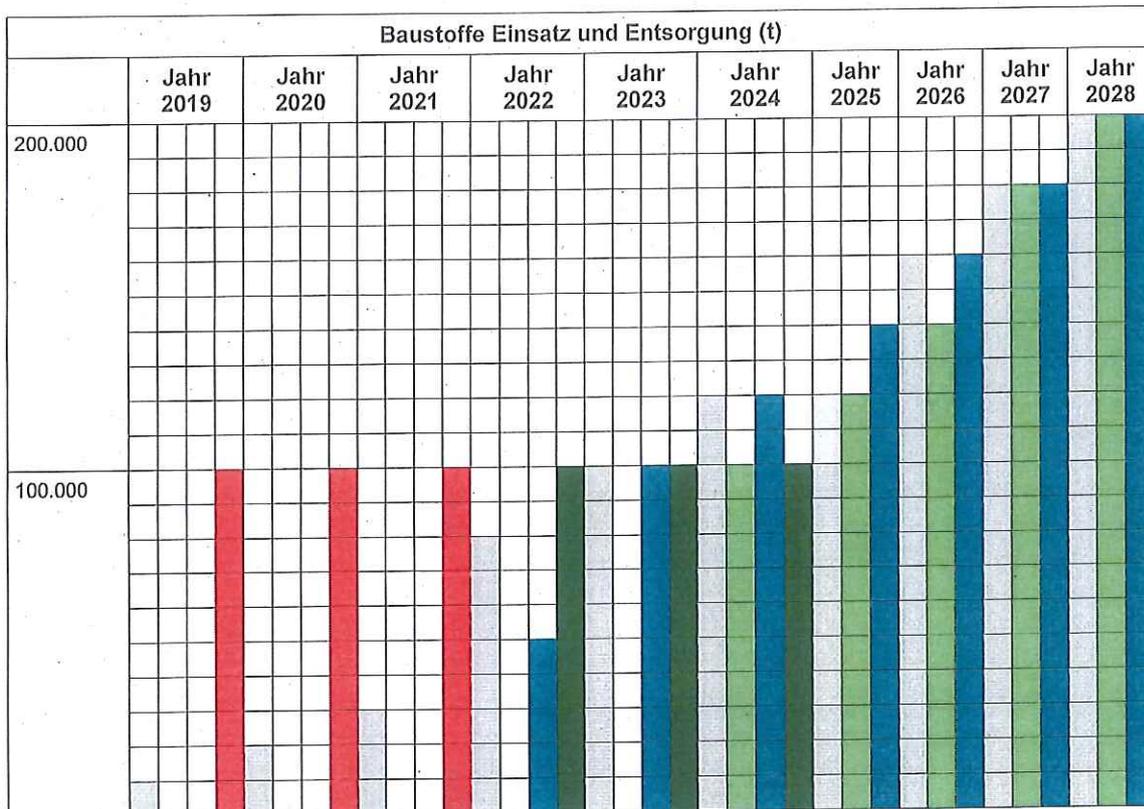
Tabelle 25: Rahmenterminplan Abbruch Gebäude und Neubau (m³ BRI) (eigene Darstellung)



Zwischen 2020 und 2025, dem Ende der Rückbautätigkeiten, werden sich Neu- und Rückbau überschneiden. In dieser Zeit kommt es in erster Linie darauf an, alle potenziellen Abnehmer innerhalb des Areals, die diesbezüglich einen systemeigenen Markt bilden, über die Einsatzmöglichkeiten zu informieren. Die großen Mengen an Baustoffen aus dem Rückbau werden voraussichtlich noch nicht

zu Beginn des Neubaus benötigt, weil voraussichtlich anhand von Demonstrationsvorhaben die Vorbehalte zunächst ausgeräumt werden müssen (siehe Kap. 4.2). Unter den gegebenen Rahmenbedingungen werden sich Einsatz und Entsorgung zeitlich wie folgt darstellen (siehe Tabelle 26).

Tabelle 26: Einbau Produkte 2019 bis 2028 / Abtransport 2019 bis 2024 (eigene Darstellung)



Entsorgung Menge pro Jahr		Einsatz Mengenzuwachs pro Jahr		
schadstoffhaltig	ungeeignet	RC-Beton im Hochbau	Substrat im Landschaftsbau	Schüttgut im Erdbau

Mit dieser zeitlichen Abfolge könnten bis 2028 alle verwertbaren Baustoffe in die Bauvorhaben der Neubebauung eingeflossen sein.

## 6 Ökologische und Ökonomische Prozessbetrachtung

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Nachhaltigkeitsthematik stehen Politik, Gesellschaft und Wirtschaft vor neuen Herausforderungen. Nach der Energiewende kündigt ein zunehmendes Problembewusstsein auch eine „Materialwende“ an. Dieses Bewusstsein findet seine Ursache allerdings weniger in einer ökologischen Einsicht, sondern beruht meist auf einem materiellen Grund. Der Druck auf die zahlenmäßig rückläufigen Deponien, die mehr Abbruchmassen aufnehmen müssen, hat entsprechende Auswirkungen auch auf deutlich höhere Deponiegebühren und auf höhere Kosten infolge weiterer Transportwege (Verband für Abbruch und Entsorgung e.V. 2017). Unter diesen ökonomischen Gesichtspunkten werden Gebäude nunmehr nach Ende ihrer Nutzungszeit nicht mehr als Wegwerfprodukte angesehen, sondern zunehmend als wertvolle Rohstoffquelle erkannt. In einer ökonomischen und ökologischen Prozessbetrachtung sollen die im vorliegenden Fall bestehenden Handlungsmöglichkeiten untersucht und gegeneinander abgewogen werden.

### 6.1 Zwei Szenarien im Vergleich

Die im Zusammenhang mit dem Rück- und Neubau stehenden Energie- und Stoffströme sind keine losgelösten Einzelphänomene. Sie werden nachfolgend unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten betrachtet. Dabei ist anzumerken, dass es nicht darauf ankommt, welches Szenario voraussichtlich die „bessere“ ökonomische oder ökologische Gesamtbilanz aufweist, sondern ob das Ergebnis den Grundsätzen der Rangfolge und Hochwertigkeit der verschiedenen Verwertungsverfahren nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz entspricht. Ein Wahlrecht besteht nämlich nur zwischen Verwertungsverfahren, die gleichrangig sind. Im hier vorliegenden Fall stehen sich jedoch alternativ eine Verwertung (Szenario 1) und eine Beseitigung (Szenario 2) gegenüber. In einem solchen Fall ist der Vorrang der Verwertung (somit Szenario 1) gesetzlich vorgegeben, es sei denn, es kann die technische Unmöglichkeit oder wirtschaftliche Unzumutbarkeit der Verwertung nachgewiesen werden. Nachdem, wie in Kapitel 5 gezeigt wurde, die technischen Möglichkeiten gegeben sind, kommt es somit nur noch darauf an, ob die Kosten bei Szenario 1 außer Verhältnis zu den Kosten für Szenario 2 stehen (Hofmann 2018, S. 796). Ist das nicht der Fall, entfällt Szenario 1 nur noch dann, wenn die Beseitigung der Abfälle den Schutz von Mensch und Umwelt nach Maßgabe des § 6 Abs.2 S.2 und 3 KrWG besser gewährleisten würde als die Verwertung (Bleicher 2018, S. 30). Nur in diesem Fall hätte der Verantwortliche ein Wahlrecht, ob er den Bauabfall ordnungsgemäß verwerten oder beseitigen lässt, ohne an die Vorrangregelung nach § 7 Abs.2 S.2 KrWG gebunden zu sein (Bleicher 2018, S. 30).

Die ökonomische und ökologische Gesamtbetrachtung erfolgt also im Hinblick auf die Feststellung, ob die Auswirkungen von Szenario 1 für die Stadt München wirtschaftlich unverhältnismäßig sind oder ob im Vergleich hierzu bei Szenario 2 der Schutz von Mensch und Umwelt besser gewährleistet wäre.

Nachfolgend sollen im Rahmen einer Gegenüberstellung die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der beiden Szenarien gegenübergestellt werden. Die bei beiden Methoden in einigen Teilabschnitten gemeinsamen Komponenten bleiben in diesem Zusammenhang ohne Relevanz, da sich diese gegenseitig aufheben. Die Ausführungen beschränken sich daher nur auf die expliziten Unterscheidungen bei den Faktoren „Kosten“, „Energie“ und „CO<sub>2</sub>-Emissionen“.

Beide Szenarien haben dieselbe Ausgangs- und Abschlusssituation: die Baufeldfreimachung erfordert die vollständige Beräumung des Areals, der Neubau benötigt Baustoffe in jeweils gleicher Art und Güte.

Bei Szenario 1 (Verwertung) werden die beim Rückbau anfallenden Materialien vor Ort aufbereitet und als Baustoffe beim nachfolgenden Neubau wiedereingesetzt (entspricht Menge 1 in Tabelle 22). Bei Szenario 2 (Beseitigung) wird das Material vollständig abgefahren (entspricht Menge 2 in Tabelle 22). Für den Neubau müssen alle Baustoffe neu eingekauft und angeliefert werden.

#### 6.1.1 Szenario 1 Verwertung

Diese Vorgehensweise bedingt einen erhöhten Planungs-, Kosten und Zeitaufwand. Ziel ist, eine vollständige bzw. möglichst hohe Recyclingquote in Bezug auf Volumen und Qualität zu erzeugen, um eine vollständigen Wiederverwendung zu ermöglichen. Der Anspruch, eine hohe Produktqualität zu erzielen, ist der Gradmesser für den Aufwand der hierfür erforderlichen Aufbereitungs- und Herstellungstätigkeiten. Das Szenario findet seinen Abschluss darin, dass alle Bau- und Abbruchabfälle zu Produkten verarbeitet worden sind, die in ihrer Menge und Güte Primärrohstoffe substituieren. Die Vorgehensweise erfordert über den gesamten Zeitraum einen sehr hohen Organisationsaufwand, da darauf zu achten ist, zahlreiche Teilprozesse terminlich aufeinander abzustimmen.

Diese sind: Brechen + Sieben + Prüfen + CE-Kennzeichnung + Zulassung + Gütesicherung + Lagern + Transport intern + Herstellung des Endproduktes als RC-Beton (Mischen + Prüf- und Zulassungen + Belieferung innerhalb des Areals) oder als Substrat oder Schüttgut (Vermischen von Körnungen) sowie Vertrieb und Einbau der Produkte. Zur Abwicklung muss ein Betrieb gewerblicher Art gegründet werden (siehe Kap. 5.7.4) (LfSt 2018, S. 4). In Abbildung 24 sind die übergeordneten Phasen von Szenario 1 dargestellt.

SZENARIO 1

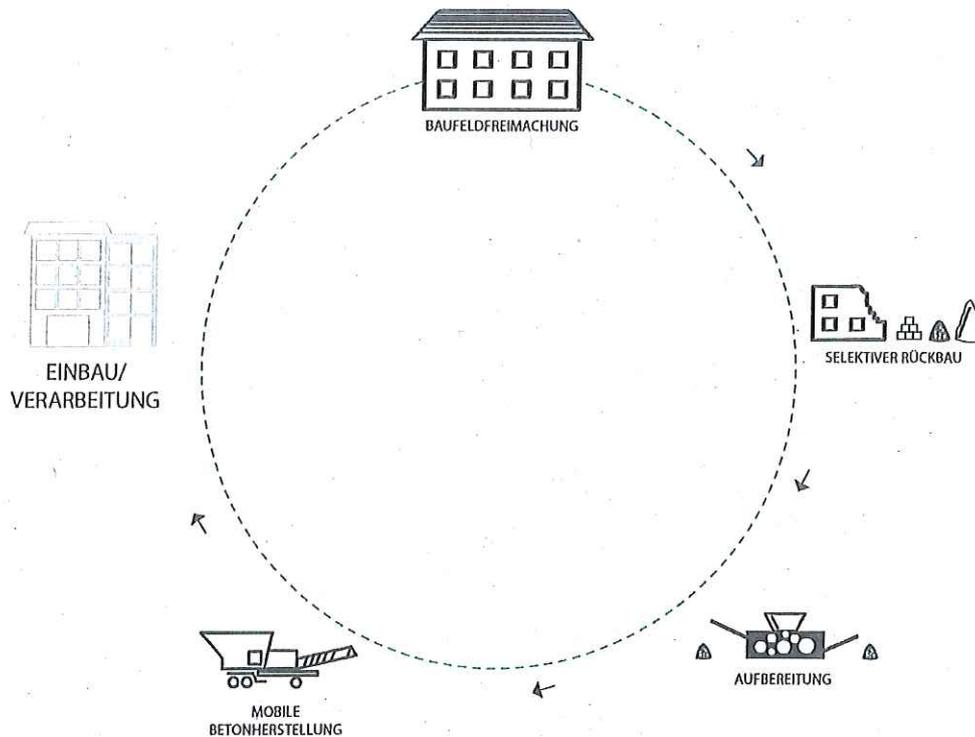


Abbildung 24: Arbeitsschritte Szenario 1 (eigene Darstellung)

### 6.1.2 Szenario 2 Beseitigung

Bei Szenario 2 werden alle Bauabfälle von der Baustelle entfernt. Die Vorgehensweise beschränkt sich auf zwei zeitlich versetzte Teilprozesse. Teilprozess 1 behandelt die Bau- und Abbruchabfälle, die abtransportiert und entsorgt werden, während unabhängig davon bei Teilprozess 2 Primärrohstoffe abgebaut werden, um hieraus neue Produkte zu fertigen, die dann zur Baustelle transportiert werden. Aus Abbildung 25 wird deutlich, dass die Abläufe nicht im Sinne eines Kreislaufs stattfinden, sondern jeweils für sich Einbahnstraßen sind.

## SZENARIO 2

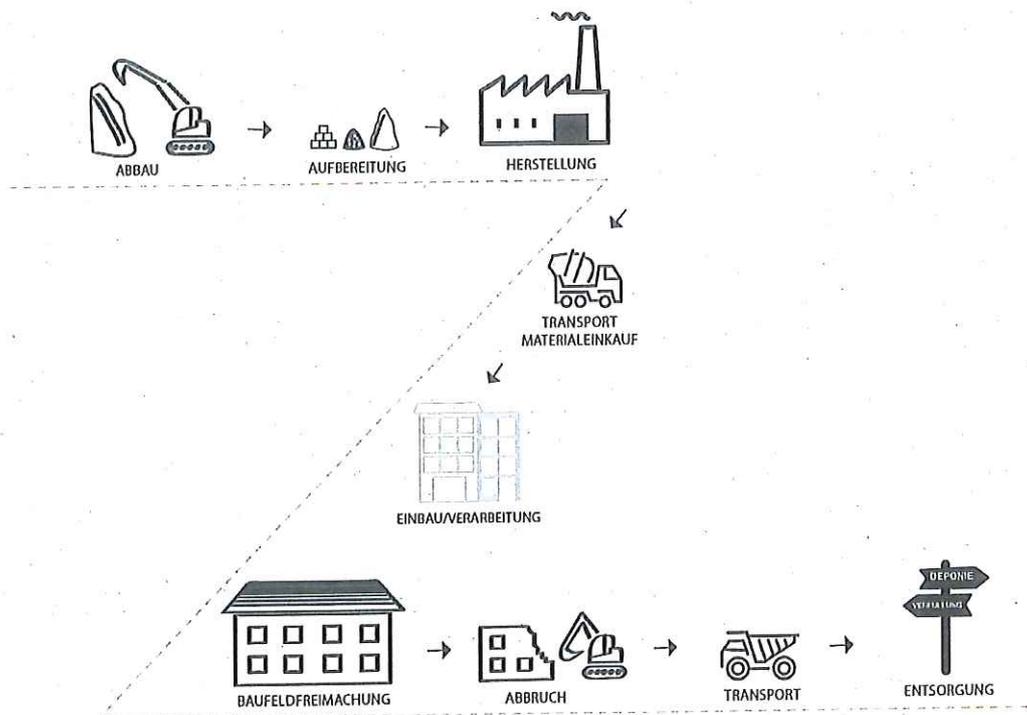


Abbildung 25: Arbeitsschritte Szenario 2 (eigene Darstellung)

Nachdem bei Szenario 2 nicht beabsichtigt ist, Bauabfälle in Baustoffe umzuwandeln, entfällt eine aufwändige Vorgehensweise beim Abbruch. Der Unterschied zu Szenario 1 besteht bei der Ausgangssituation darin, dass beim Abbruch eine deutlich gröbere Trennung von Materialien stattfindet (Schröder 2018, S. 242). Die Separierung von verschiedenen Materialien erfolgt häufig erst nach dem maschinellen Geräteeinsatz, mittels Sortiergeräten oder sonstigen Aufbereitungsanlagen, wobei es hier eher zu Vermischungen kommt als in Szenario 1. In der Praxis kennen die Abbruchunternehmen die Möglichkeiten und Grauzonen, dieses nicht sortenreine Material im regionalen Umfeld relativ kostengünstig zu verfüllen. Für den Fall einer gegebenenfalls notwendigen Deponierung entscheiden dann rein betriebswirtschaftliche Erwägungen, ob das Material zur Aufbereitung einem Recyclingunternehmen zugeführt werden soll oder ob die Deponiekosten günstiger sind.

Bei Szenario 2 entfallen somit jegliche Aufbereitungs- und Lagerstrukturen mit Ausnahme der Zwischenlagerung zwischen Aushub und Abfuhr. Der in Kapitel 5.8 aufgezeigte interne Stofffluss findet nicht statt. Alle beim späteren Neubau benötigten Baustoffe werden für das Projekt Bayernkaserne zwischen den Jahren 2022 und 2028 termingenau angeliefert. Das einzukaufende Baumaterial wird voraussichtlich aus Primärrohstoffen bestehen. Der Bezug von Rohstoffen ist in Deutschland kein Problem, denn die Versorgung mit Rohstoffen ist bis dato grundsätzlich gesichert (siehe Kap. 3),

wenngleich zunehmend auf die begrenzte Verfügbarkeit hingewiesen wird (Vbw 2015, S. 7) (StMWI 2015, S. 84).

Szenario 2 stimmt mit den Grundsätzen der Hierarchie und des Höchstverwertungsgebotes des KrWG zwar nicht überein, nutzt jedoch die gesetzliche Option, die Vorgaben des KrWG für den Fall einer technischen Unmöglichkeit bzw. wirtschaftlichen Unzumutbarkeit zu relativieren. Die Begründung für einen Ausnahmetatbestand könnte demnach bei Szenario 2 daraus hergeleitet werden, dass der Aufwand, der bei Szenario 1 zu betreiben wäre, so erheblich wäre, dass dieser als „unzumutbar“ einzustufen wäre. Das Kriterium der Unzumutbarkeit würde daraus abgeleitet werden, dass eine aufwändige Aufbereitungs- und Lagerlogistik bei gleichzeitiger Nutzung des Areals als Unterkunft für Flüchtlinge und gleichzeitiger Bauabwicklung eines Neubauvorhabens „unverhältnismäßig“ wäre.

### 6.1.3 Abläufe im Vergleich

Beide Szenarien gehen von derselben Gesamtmenge von 1,2 Mio. t aus. Bei Szenario 1 soll die Hälfte des Materials (600.000 t Menge 1) verwertet werden (LHM 2018a, S. 52). Die andere Hälfte (600.000 t Menge 2) findet auch bei Szenario 1 keine Verwendung. Dies gilt bezüglich Menge 2 auch für Szenario 2. Somit bleibt die Vorgehensweise bei Menge 2 außer Betracht, so dass sie hier für eine vergleichende Betrachtung ohne Belang ist.

Hinsichtlich Menge 1 unterscheiden sich beide Stoffströme erheblich. Die einzelnen Arbeitsschritte sind sowohl in Abbildung 26 als auch in Tabelle 29 dargestellt. Beide Stoffströme beginnen mit dem Abbruch bzw. selektiven Rückbau und enden beim Einsatz im Neubau. Szenario 2 weist hierbei deutlich längere Wege. In Abbildung 26 wird Szenario 1 in grün und Szenario 2 in orange dargestellt.

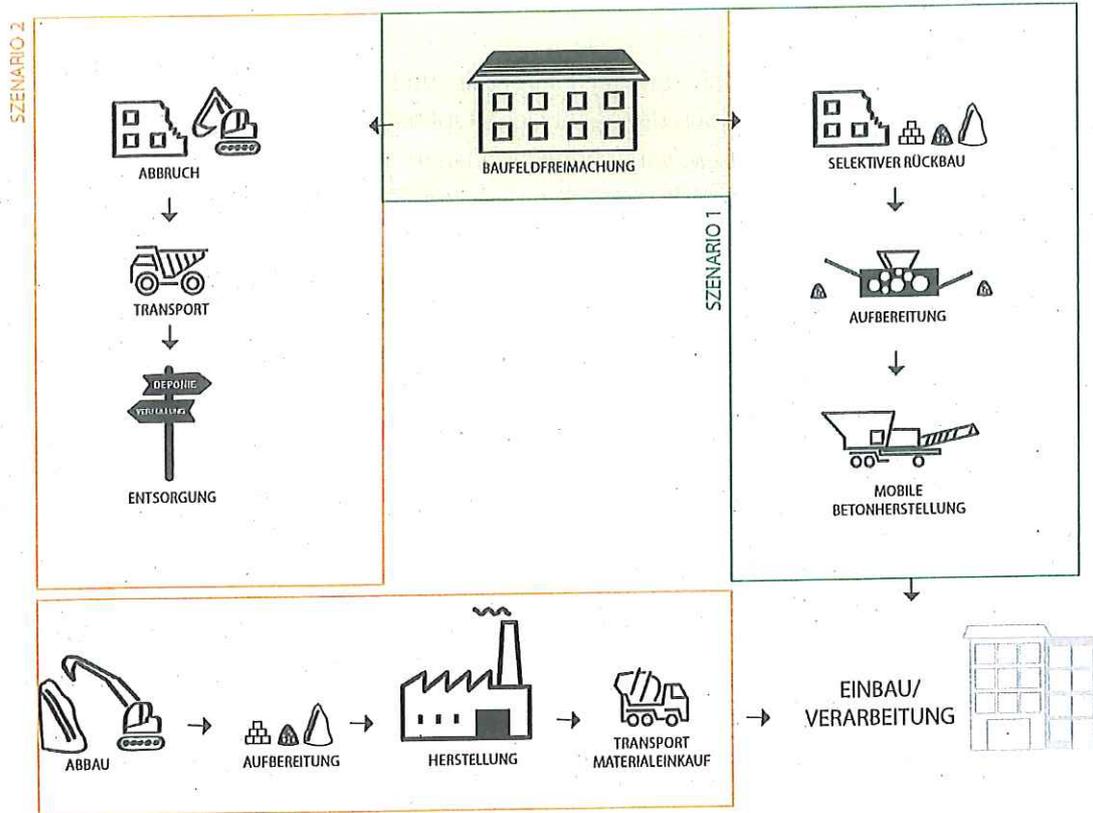


Abbildung 26: Szenarien 1 und 2 im Vergleich (eigene Darstellung)

Tabelle 29: Szenarien im Vergleich Stoffstrom Menge 1 (eigene Darstellung)

Szenario 1: Arbeitsschritte		Szenario 2: Arbeitsschritte	
Rückbau	Erdbau	Abbruch	Erdbau
Aufbereitung	Aufbereitung	Aufladen	Aufladen
Brechen		Abtransport	Transport
Sieben	Sieben	Entsorgung	
Aufladen	Aufladen	Abbau Primärrohstoff	Abbau Primärrohstoff
Transport Lagerfläche/Mischanlage	Transport interne Lagerfläche/Einsatzstelle	Aufbereitung n	
Beton Herstellung		Herstellung	
Laden		Laden	Laden
Transport zur	Transport zur	Transport zur	Transport zur

Einsatzstelle	Einsatzstelle	Einsatzstelle	Einsatzstelle
Verkauf	Verkauf	Ankauf	Ankauf
Einbau	Einbau	Einbau	Einbau

## 6.2 Ökonomische Betrachtung des Recycling Projekt

Die zu ermittelnden Kosten erheben nicht den Anspruch auf Präzision, da es sich um variable wirtschaftliche Daten handelt, welche von Region und Saison abhängig sind. Es geht vielmehr um eine vergleichende Betrachtung der Kostenfaktoren, um festzustellen, ob die Kosten in Szenario 1 gegebenenfalls außer Verhältnis zum beabsichtigten Nutzen stehen, so dass ein Ausnahmetatbestand nach § 7 Abs.4 S.1 KrWG begründet werden könnte. Darüber hinaus soll die Bilanzierung als Anhaltspunkt von Überlegungen bei künftigen Projekten dieser Art dienen.

Grundlage für einen Kostenvergleich sind die aktuelle Markterkundung sowie Kostenkennwerte aus Vergabeverfahren der Landeshauptstadt München im Leistungsbereich Abbruch, Transport und Entsorgung. Um die jeweilige Marktsituation wiederspiegeln zu können, werden das jeweils preisgünstigste und teuerste Angebot von der Betrachtung ausgeschlossen; aus den verbliebenen Angeboten wird ein arithmetischer Mittelwert gebildet. Damit soll verhindert werden, dass der arithmetische Mittelwert zum Beispiel durch „Dumping Preise“ verfälscht wird.

Die sich in den folgenden Ausführungen anschließenden Tabellen wurden mit Hilfe von Microsoft Excel erstellt. Nachdem das Programm auch über exakte Rechenfunktionen verfügt, wurden damit die Rechnungen innerhalb der Tabellen vorgenommen.

Die technischen Daten der Maschinen, die für die nachfolgenden ökonomischen und ökologischen Berechnungen von Relevanz sind, sind in der Anlage 15.2 beigefügt.



## 6.2.7 Zusammenführung der Mehrkosten beiden Szenarien

In beiden Szenarien entstehen aufgrund unterschiedlicher Abläufe Kosten, die bei dem jeweils anderen Szenario entfallen. Nachfolgend werden die jeweiligen Kosten zusammengefasst und dann mit den Kosten des anderen Szenarios verglichen.

Die Kosten werden in den Teilprozessen als Gesamtbetrag und in der Bezugsgröße pro Tonne dargestellt. Es handelt sich hierbei nicht um eine exakte Kostenermittlung, sondern um Richtwerte. Für eine Hochrechnung auf eine größere bzw. geringere Materialmenge können die Kosten pro Tonne als Orientierung dienen. Das Material wird für das Projekt Bayernkaserne erst in den kommenden Jahren benötigt (siehe. Kap. 5.7.8); die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Kosten beruhen auf einer aktuellen Marktnachfrage und spiegeln den derzeitigen Preisstand wieder. Demgemäß bleiben eventuell eintretende zukünftige Preisveränderungen hier außer Betracht.

In Tabelle 41 sind die Mehrkosten für Szenario 1 dargestellt.

Tabelle 41: Übersicht Kosten für das Recycling-Projekt/Szenario 1 (eigene Darstellung)

Übersicht		Kosten Gesamt		
		[€]	Aufberei- tungs- menge [t]	[€/t]
Planungsauf- wand		1.248.000,00 €	600.000	2,08 €
Abbruch		1.892.100,00 €	600.000	3,15 €
Aufbereitung	Maschinen	2.951.228,57 €	600.000	4,92 €
	Prüf- und Zulassungen	308.500,00 €	600.000	0,51 €
Transport		2.687.510,00 €	600.000	4,48 €
Herstellung	Produktion	1.313.537,73 €	200.000	6,57 €
	Einkauf	4.345.000,00 €	200.000	21,73 €
	Belieferung	229.030,00 €	200.000	1,15 €
	Prüf- und Zulassungen	72.500,00 €	200.000	0,36 €
Belieferung		1.150.030,00 €	200.000	5,75 €
Eigenüber- wachung		300.000,00 €	600.000	0,50 €
<b>Summe:</b>		<b>16.497.436,30 €</b>	<b>600.000</b>	<b>27,50 €</b>

Der Tabelle 42 sind die Mehrkosten für Szenario 2 zu entnehmen.

Tabelle 42: Übersicht Kosten für das konventionelle Projekt/Szenario 2 (eigene Darstellung)

Übersicht	Kosten Gesamt		
	[€]	Aufberei- tungs- menge [t]	[€/t]
Planungsaufwand	- €	600.000	- €
Abbruch	- €	600.000	- €
Entsorgung	9.741.000,00 €	600.000	16,24 €
Einkauf (inkl. teilw. Belieferung)	14.033.000,00 €	600.000	23,39 €
Belieferung	2.276.906,00 €	400.000	5,69 €
<b>Summe:</b>	<b>26.050.906,00 €</b>	<b>600.000</b>	<b>43,42 €</b>

Aus der Gegenüberstellung der beiden Szenarien ergibt sich eine Kostendifferenz in Höhe von ca. 9,6 Mio. € zugunsten Szenario 1. In Bezug auf die gesamte Kostensumme von Szenario 2 entspricht dies etwa 35%.

In Abbildung 28 ist der direkte Vergleich zwischen Szenario 1 und 2 dargestellt. Die unterschiedlichen Ebenen in den beiden Säulen spiegeln die einzelnen Kosten der jeweiligen Teilprozesse wieder.

### Mehrkosten der Szenarien 1 und 2

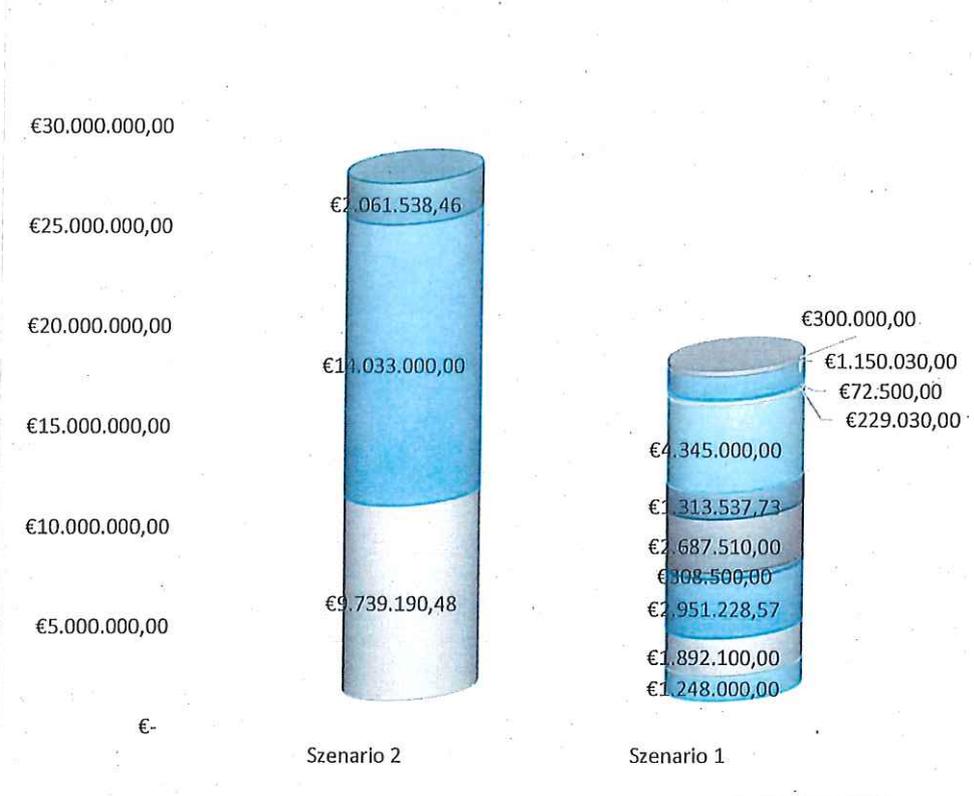


Abbildung 28: Mehrkosten der Szenarien 1 und 2 unterteilt in die einzelnen Prozesse (eigene Darstellung)

### 6.3 Ökologische Betrachtung des Recycling Projektes

Nach dem ökonomischen Vergleich beider Szenarien werden nunmehr beide Vorgehensweisen aus ökologischer Perspektive betrachtet. Dafür werden zum einen der Energieverbrauch, zum anderen der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der beiden Szenarien miteinander verglichen. An dieser Stelle gilt ebenfalls, dass lediglich diejenigen Energie-Faktoren verglichen werden, die Unterscheidungen aufweisen. In einer ganzheitlichen Betrachtung wären grundsätzlich auch die Herstellungsprozesse für Zement einzubeziehen, denn gerade die Brennvorgänge der Zementherstellung erweisen sich als sehr energieintensiv (Mettke 2010, S. 79). Für die Herstellung von einer Tonne Zement wird ein beachtlicher Gesamtenergiebedarf von etwa 3.266 MJ (Megajoule) kalkuliert (EEFA 2013, S. 10), was bei einem Zementbedarf von ca. 36.000 t zu 117.576.000 MJ führt. Es wird angenommen, dass bei beiden Szenarien der gleiche Bedarf an Zement, Wasser, Zusatzstoffen und Zusatzmitteln für die Betonproduktion besteht, weshalb in dieser Arbeit auf die Betrachtung des Energieaufwands und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes für die Herstellung dieser Ausgangsstoffe verzichtet werden kann.



~~–Tabelle 52: Energieaufwand-Belieferung-Substrate-und-Schüttmaterialien-(eigene-Darstellung)~~

Energiebedarf [MJ/t*km]	Fahrtstrecke (hin- und zurück) [km]	Energiebedarf [MJ/t]	Gesamt material [t]	Energieaufwand Gesamt [MJ]	Anzahl Fahrten	Fahrtstrecke Gesamt [km]
1,24	36	44,64	400.000	17.856.000	30.769	1.107.692

~~Tabelle 52 zeigt den Energieaufwand für die Belieferung der Substrate vom München Stadtteil Lochhausen (Fa. Süderde). Der Transportweg beträgt einfach 18 km, der Energiebedarf 1,24 MJ t/km. Für 400.000 t sind 1.107.692 km Transportstrecke zurückzulegen, so dass sich ein Gesamtenergiebedarf von 17-TJ ergibt.~~

### 6.3.1.6 Summierter Energieverbrauch für beide Szenarien

Tabelle 53: Summierter Energieaufwand für Szenario 1 und 2 (eigene Darstellung)

Übersicht		Energieaufwand Gesamt		
Phase	Szenario	[MJ]	Aufbereitungsmenge [t]	[MJ/t]
Transport (Entsorgung)	Szenario 2	28.768.000	600.000	47,9
Aufbereitung	Szenario 1	10.693.029	600.000	17,8
Transport innerhalb Kaserne	Szenario 1	12.570.567	600.000	8,0
Herstellung RC-Beton	Szenario 1	4.788.636	200.000	62,9
Belieferung innerhalb Kaserne	Szenario 1	273.337	200.000	1,4
Herstellung Primärrohstoffe	Szenario 2	7.000.000	200.000	35,0
Herstellung Transportbeton	Szenario 2	337.312	200.000	1,7
Herstellung Substrate/Schüttmaterialien	Szenario 2	2.564.557	400.000	6,4
Transport (Belieferung)	Szenario 2	26.298.840	600.000	43,8
<b>Summe Szenario 1:</b>		<b>28.325.569</b>	<b>600.000</b>	<b>47,2</b>
<b>Summe Szenario 2:</b>		<b>62.404.152</b>	<b>600.000</b>	<b>104,0</b>
<b>Differenz Szenario (2 - 1):</b>		<b>34.078.583</b>	<b>600.000</b>	<b>56,8</b>

In Tabelle 53 wird der gesamte Aufwand an Energie für beide Szenarien zusammengefasst.

Für Szenario 1 entsteht ein Energiemehraufwand von ca. 28 TJ, welcher sich hauptsächlich aus der Aufbereitung und dem Transport innerhalb der Kaserne zusammensetzt.

Für Szenario 2 entsteht ein Energiemehraufwand von ca. 62 TJ, welcher weitestgehend durch die Transporte zur Bayernkaserne zustande kommt. Somit entsteht eine Differenz zu Lasten von Szenario 2 von ca. 34 TJ. Dies entspricht in Bezug auf die Aufbereitungsmenge von 600.000 t einem Wert von 56,8 MJ/t.

Die Werte sollen als Orientierung dienen und können eine konkrete Ökobilanzierung nicht ersetzen. Eine entsprechende Anpassung auf eine größere oder geringere Menge ist bei gleichen Verhältnissen von Boden/Schüttmaterialien – RC-Beton möglich.

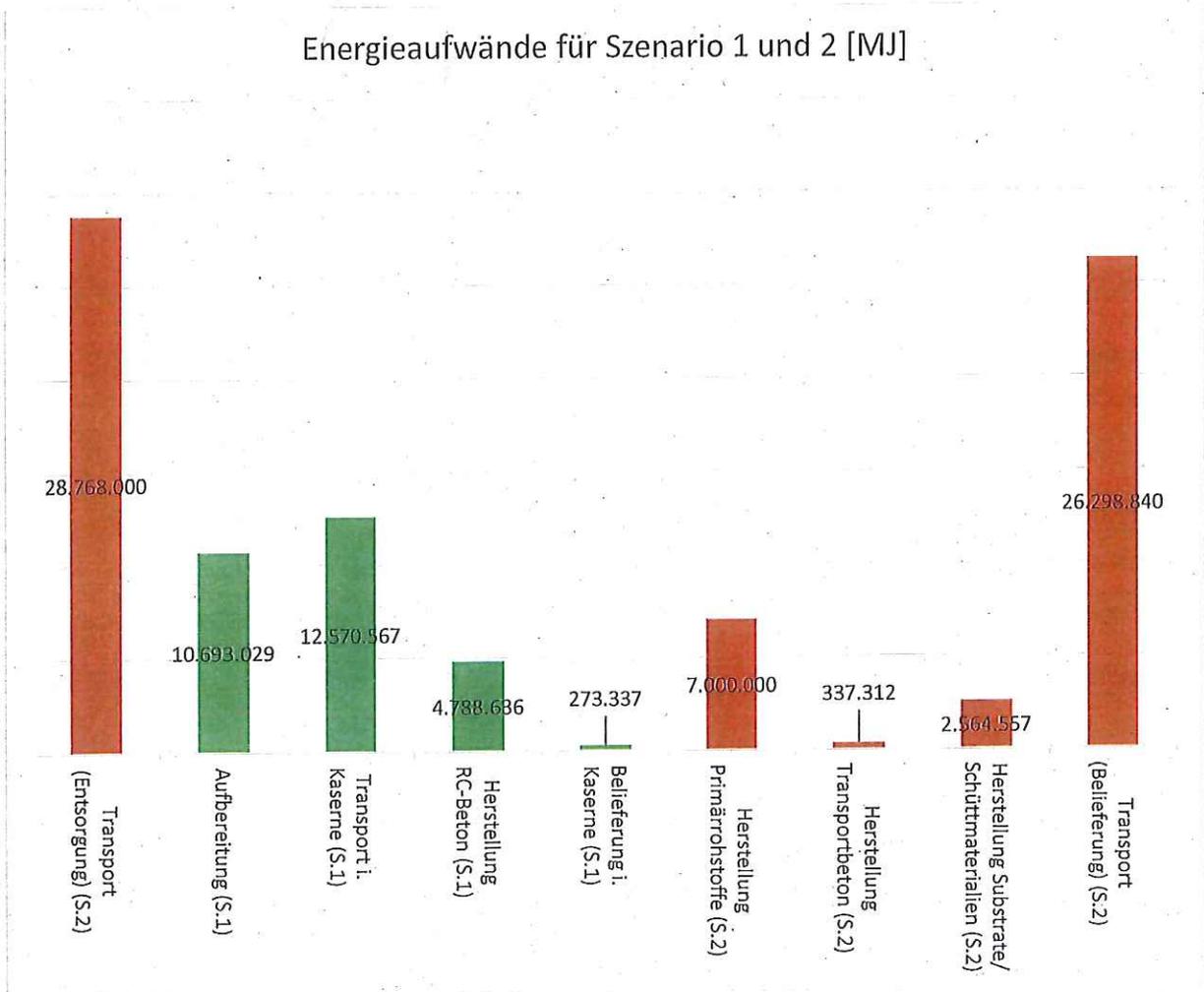


Abbildung 29: Energieaufwände für die einzelnen Phasen für Szenario 1 und 2 (eigene Darstellung)

~~Der maßgebliche Einflussfaktor für den Energieverbrauch bzw. den CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei Szenario 2 besteht in den Transportstrecken. Damit hängt die ökologische Bilanz von der Entfernung zur nächstgelegenen Ablagerungsstätte ab.~~

Die hier zurückzulegenden Strecken in Szenario 2 für Transportleistungen mit 3.286.593 km sind beachtlich. Bildlich gesehen müsste dafür ein LKW ca. 82 Mal auf Höhe des Äquators um die Erde (Erdumfang ca. 40.000 km) fahren. Auch beim Einsatz einer adäquaten Anzahl von Transportfahrzeugen würde die Entsorgung mehrere Jahre dauern.

Mit insgesamt 9,1% von der gesamten Fahrleistung in Deutschland im Jahr 2017 ausgehend, wurden von Lastkraftwagen 66 Milliarden km zurückgelegt. Die Fahrleistung von LKWs ist um 4,7% im Vergleich zum Vorjahr gestiegen, die Fahrleistung von Sattelzugmaschinen um 2,2% (KBA 2018). Um Nachhaltigkeitsziele einhalten zu können, sollte die Fahrleistung auf den deutschen Straßen deutlich zurückgehen. Die gesamte Fahrleistung für Szenario 2 mit 3.286.593 km erscheint mit ca. 0,005% von 66 Milliarden km noch relativ gering – doch diese Arbeit zeigt, dass diese vermieden werden könnten, da mit Szenario 1 eine echte Alternative zur Verfügung steht. Hinzu kommt, dass sich die Betrachtung in dieser Arbeit „lediglich“ auf eine Entsorgungsmenge von 600.000 t bezieht. Tatsächlich aber werden im Rahmen des Projekts Bayernkaserne wesentlich mehr Fahrbewegungen stattfinden: Für das Ausheben von Boden für geplante Tiefgaragen fallen ca. 3,6 Mio. t<sup>5</sup> abzutransportierendes Material an, für die Errichtung des Neubaus hingegen werden 3,9 Mio. t mineralische Baustoffe benötigt.

Dennoch ist nicht außer Acht zu lassen, dass die energetischen Aufwände von Szenario 1 und 2 summiert mit ca. 90 TJ (siehe Tabelle 53) immer noch geringer sind, als der Energieaufwand für die Herstellung von Zementen mit ca. 118 TJ, bezogen auf eine vergleichsweise geringfügige Betonproduktion. Deswegen ist die Forschung nach Alternativen für Zement aus ökologischen Gesichtspunkten dringend geboten. Für die Entscheidung, welches der beschriebenen Szenarien ökologisch und ökonomisch sinnvoller ist, hat der Faktor Energieaufwand Zement jedoch keinen Einfluss.

## 6.4 Schlussfolgerungen

Die maßgeblichen Kriterien der ökonomischen und ökologischen Betrachtung bestehen in den Transportbewegungen sowie in den Kosten der Entsorgung. Pauschal lassen sich die erläuterten

---

<sup>5</sup> 224.000 m<sup>2</sup> Grundfläche aller zukünftigen Gebäude (B-Plan Bayernkaserne vom 10.04.2019) mal Tiefe 8 Meter pro Gebäude und ein Umrechnungsfaktor 2,0 t/m<sup>3</sup> -> 224.000 \* 8 \* 2 = 3,58 Mio. t

Vorteile von Szenario 1 für die ökonomische Berechnung bei ca. 35 % einordnen, der ökologische Vorteil liegt sogar bei ca. 50 %.

In Szenario 1 beschränken sich die Transporte auf die Fahrten innerhalb des Systems. Eine Beschaffung der Primär-Baustoffe entfällt mit Ausnahme der Zuschlagsstoffe für die Betonherstellung ganz. Selbst wenn man die zahlreichen maschinellen, mit einem teilweise hohen Energieverbrauch verbundenen Aufbereitungsschritte entsprechend berücksichtigt, geben letztlich die externen Transporte aus Szenario 2 den Ausschlag.

Bei Szenario 2 sind ca. 93.000 LKW-Transporte erforderlich. Diese verursachen einen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von ca. 733 t. Die damit zusätzlich verbundenen Lärmbelastungen können als generelle Störfaktoren nicht beziffert werden, sind aber sehr wohl auch als Umweltbelastung zu werten. Keine Bewertung kann zum Verschleiß des Straßenbelags erfolgen. Dieser steigt mit der vierten Potenz seines Gewichts durch jedes Fahrzeug, jeweils bezogen auf eine Achse (Drösser 2011). Die Schäden an Straßen infolge erhöhter Abnutzung von Straßendecken und Bildung von Spurrillen werden Ausbesserungsmaßnahmen notwendig machen, die wiederum Kosten, Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß verursachen (FIS 2018).

In Bezug auf die Forschungsfrage, ob aufgrund der hier erarbeiteten präferierten Vorgehensweise Primärrohstoffe eingespart werden, ist die Beantwortung eindeutig. Dieser Effekt kann nur anhand von Szenario 1 erzielt werden, da ausschließlich im Rahmen dessen das Potential von Sekundärrohstoffen genutzt und in den Kreislauf wieder zurückgeführt wird. Zwar sind Kies und Sand in Bayern noch auf Jahrzehnte verfügbar, doch kann in Zukunft bei gleichbleibendem Bedarfsniveau eine Verschärfung regionaler Konflikte aufgrund der Rohstoffverknappung erwartet werden (Kolb 2019).

Demnach stellt sich aus den genannten Nachhaltigkeitsfaktoren das Recycling-Projekt (Szenario 1) als wesentlich vorteilhafter dar. Mit dieser Feststellung erübrigen sich weitere Abwägungen zwischen Szenario 1 und 2, denn Szenario 1 steht entsprechend den Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft ohnehin der Vorrang zu. Nur dann, wenn das Resultat – z.B. aufgrund kürzerer Entfernungen zur Ablagerungsstelle – zugunsten von Szenario 2 ausfallen würde, wäre die Verwertungspflicht gegebenenfalls nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu relativieren.

Das „Vor-Ort-Recycling-Vorgehen“ am Beispiel der Bayernkaserne ist auch auf andere Projekte übertragbar. Die Maßnahmen können als Pilotprojekt die Wege für weitere Recycling-Projekte öffnen. Grundsätzlich müssen hierfür jedoch stets weitere standortspezifische Faktoren, wie z.B. zeitliche Fristen oder räumliche Begebenheiten für Lagerung und Aufbereitung, in die jeweilige Projektplanung mit einfließen.

## 7 Zusammenführung der Ergebnisse

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Modell ermöglicht die Verknüpfung von Massenströmen eines Abbruch- und Neubauvorhabens. Damit ein Wiedereinsatz von Bau- und Abbruchabfällen in Betracht kommt, müssen die entsprechenden bauphysikalischen Eigenschaften zunächst in einem Aufbereitungsverfahren wiederhergestellt werden. Die Vorgehensweise wurde anhand eines großen innerstädtischen Abbruchvorhabens demonstriert. Dabei ging es darum zu prüfen, ob entsprechend den gesetzlichen Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ein Wiedereinsatz technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Dies wurde in Bezug auf die Hälfte der anfallenden mineralischen Baustoffe bejaht. Die Gesamtmenge des Materials (1,2 Mio. t) setzt sich aus Bauschutt (200.000 t) und Boden (1 Mio. t) eines ehemaligen ca. 48 ha großen Kasernenareals zusammen. Die Baurestmassen entstehen beim Abbruch von 50 Gebäuden (180.000 t) und unterirdischen Bauwerken (Kanälen, Bunker). Die große Menge an Boden resultiert im Wesentlichen aus der Aufgabe, die Kampfmittelfreiheit herzustellen, wozu auf der Hälfte der Fläche der Boden ca. 0,75 cm abgetragen werden muss.

Es wurde erläutert, dass Bau- und Abbruchabfälle sowie Boden nicht nur als Entsorgungsproblem, sondern als Potenzial angesehen werden können, um hieraus Bauprodukte zu erzeugen und in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen. Wie die Ausführungen zum konkreten Projekt Bayernkaserne gezeigt haben, kann diese Rückführung innerhalb desselben Areals im Rahmen der Neubebauung erfolgen. Eine solche Verknüpfung ist in diesem Fall insbesondere dadurch möglich geworden, weil die geplante Baufeldfreimachung, die ursprünglich bis 2014 hätte abgeschlossen werden sollen, zunächst zurückgestellt wurde. Aufgrund der akuten Flüchtlingsthematik in den Jahren 2012 bis 2016 und dem daraus resultierenden enormen Bedarf an Unterkunftsflächen diente das gesamte Areal kurzfristig als Erstaufnahmeeinrichtung für Asylbewerber, so dass die eigentlich bereits unmittelbar vor dem Abbruch stehenden Unterkünfte nochmals eine wichtige Aufgabe erfüllen konnten. Während dieser Zeit wurden die Planungen des Neubaugebiets fortgesetzt und mittlerweile in einem rechtskräftigen Bebauungsplan abgeschlossen. Damit stehen sich jetzt bei Fortsetzung der Abbrucharbeiten zwei Baustoffmengen gegenüber, die zum Teil einen gemeinsamen Nenner haben.

Die in dieser Arbeit vorgeschlagene nachhaltigkeitsorientierte Vorgehensweise hat sich nicht nur unter dem Aspekt als sinnvoll erwiesen, dass die in den Bau- und Abbruchabfällen enthaltenen Sekundärrohstoffe dem Wirtschaftskreislauf wieder zugeführt werden können; vielmehr bestehen mittlerweile auch gesetzliche Verpflichtungen. Allerdings konnte die Darstellung vorhandenen gesetzlichen Rahmenbedingungen deutlich machen, dass trotz umfangreicher Regelungen auf den Rechtsgebieten des Abfall-, Boden-, Bau- und Vergaberechts nach wie vor eindeutige, nicht interpretierbare gesetzliche Vorschriften fehlen. Zwar erklärt § 45 KrWG die Ziele der Kreislaufwirtschaft für alle öffentlichen Stellen als Verhaltensmaßstab für verbindlich, konkretisiert diese aber lediglich als eine „Prüfpflicht“, aber nicht als eine „Beachtungspflicht“. Auch die Verpflichtung aller Akteure zur „Hochwertigkeit“ (§ 8 KrWG) bleibt letztlich wirkungslos, da sie unter dem Vorbehalt der technischen Möglichkeit und wirtschaftlichen Zumutbarkeit steht und damit zumindest formal auch mit einem sog. „Downcycling“ erfüllt werden kann. Zudem hätten in einem Vergabeverfahren Bieter keine rechtliche

Handhabe, um unbeachtet gebliebene Umweltfaktoren einzufordern. Demgemäß bewirken die gesetzlichen Vergabebestimmungen derzeit nur, dass Nachhaltigkeitsprodukte bestenfalls als gleichrangig, nicht jedoch als „bevorzugt“ ausgeschrieben werden. Damit entscheiden letztlich (nur) die Preisstrukturen des Marktes darüber, ob Sekundärrohstoffe zum Einsatz kommen.

Nach Klärung der Gesetzeslage wurde eine Beschreibung der generellen Verwertungsmöglichkeiten von RC-Material im Hoch- und Tiefbau vorgenommen, um eine einheitlich verständliche Basis für die Überlegungen des konkreten RC-Projekts Bayernkaserne zu schaffen. Die Voraussetzungen von RC-Material zum Zwecke von Verfüllungen werden in einem RC-Leitfaden (StMUV 2005) vorgegeben und können mittlerweile als üblicher Verwertungsweg angesehen werden. Gleichwohl wird dieser Leitfaden überwiegend nur mit einem „Downcycling“ umgesetzt, einer Vorgehensweise, die nicht dem Gebot der „Hochwertigkeit der Verwertung“ entspricht. Diesem Gebot kommt eine aktive Umsetzung nur dann gleich, wenn die wertgebenden bauphysikalischen Eigenschaften des Baustoffs wiederhergestellt und tatsächlich wertgemäß eingesetzt werden. Hierfür sind jedoch verhältnismäßig aufwändige Aufbereitungsprozesse notwendig, die sich für viele Akteure der Bauwirtschaft derzeit noch als Hemmnis erweisen und deshalb noch Verbesserungen in der Aufbereitungstechnologie abgewartet werden.

Die entsprechenden technischen Normen erlauben bereits den Einsatz von Gesteinskörnungen aus Betonschutt und in bestimmten Anteilen auch aus Mauerwerksbruch zur Herstellung von RC-Beton, der dieselben Eigenschaften aufweist wie Beton, der mit Primärrohstoffen hergestellt wird. Trotzdem gibt es im Rahmen der Herstellung noch einige Herausforderungen bzw. Probleme, die bislang noch keine zufriedenstellenden Lösungen gefunden haben. So entstehen bspw. als unvermeidbare Begleiterscheinung während der Aufbereitung Brechsande als sehr feine Gesteinskörnungen, die nach den gültigen Vorschriften bei der Produktion von RC-Beton nicht zulässig sind. Die derzeit üblichen Prüfverfahren hinsichtlich der Eignung von Gesteinskörnungen sind nur für größere Körnungen anwendbar und können auf Brechsand nicht übertragen werden. Es müssen in naher Zukunft folglich noch neue Methoden und Prüfverfahren entwickelt werden, die auch feine Körnungen standesgemäß analysieren können.

Auf Basis dieser Kenntnisse konnte anschließend die anvisierte Vorgehensweise im Rahmen des Recycling-Projekts in der Bayernkaserne konkret dargelegt werden. Der besondere Vorteil dieses Projekts besteht darin, dass alle Maßnahmen in einem selbst organisierten Recyclingsystem stattfinden können. Trotzdem handelt es sich bei der Umsetzung um eine komplexe Verknüpfung mehrerer technischer Verfahren, um aus den während der Baufeldfreimachung anfallenden Bau- und Abbruchabfällen/Böden in der Größenordnung von insgesamt 1,2 Mio. t vollwertige Bauprodukte generieren (50%) bzw. diese zu entsorgen (50%), falls eine Aufbereitung nicht möglich ist. Der Maßstab dieser Trennung in geeignetes und ungeeignetes Material erfolgt entsprechend den Grundsätzen des KrWG danach, ob die mit einer Verwertung verbundenen Kosten außer Verhältnis zu den Kosten stehen, die bei einer Entsorgung zu tragen wären. Auf Basis aktueller Kalkulationen erhält dieser Aspekt aufgrund einer hohen Schadstoffbelastung jedenfalls bei 300.000 t der 1,2 Mio. t eine

entsprechende Relevanz. Bei weiteren 300.000 t an Mischboden, bei denen eine Aufbereitung ebenfalls sehr aufwändig wäre, ist die Frage derzeit noch ungeklärt, ob die gesetzliche Verpflichtung zur Wiederverwertung auch beinhaltet, dass die Stadt das Material auf dem Gelände zu belassen hat. Dies wäre praktisch z.B. in Gestalt eines Rodelhügels oder Lärmschutzwalls möglich, würde aber ggf. einen Eingriff in die gemeindliche Planungshoheit darstellen. Daher wurde das Konzept vorsorglich auf eine definitiv anfallende Entsorgungsmenge von 600.000 t und eine mögliche Wiederverwertungsmenge von ebenfalls 600.000 t ausgelegt.

Von diesen Mengen ausgehend stehen in der Diskussion um die mögliche Wiederverwertbarkeit von Baustoffen die konkret bestehenden Einsatzmöglichkeiten des RC-Materials im Mittelpunkt. Dabei korreliert die aufwändigste Aufbereitungsmethode mit der höchstmöglichen Verwertungsstufe. Gelingt es nämlich, aus Beton- und Mauerwerksbruch sortenreine Ausgangsstoffe zu schaffen, kann damit qualitativ hochwertiger RC-Beton für den Einsatz im Hochbau (200.000 t) hergestellt werden. Entsprechend ihren bauphysikalischen und umwelttechnischen Eignungen, können aber auch andere mineralische Baustoffe als Substrate im Landschaftsbau (200.000 t) und als Schüttgut im Straßenbau (200.000 t) Primärrohstoffe substituieren.

Zu erwähnen gilt an dieser Stelle, dass der tatsächliche Bedarf und die künftigen Einsatzmöglichkeiten der mineralischen Baustoffe aktuell noch nicht genau bekannt sind, so dass derzeit nur Annahmen getroffen werden können, welches konkrete RC-Material beim geplanten Neubaufvorhaben in einigen Jahren benötigt wird. Die Stadt als Produzent von Bau- und Abbruchabfällen richtet damit sozusagen vorerst ein Baustofflager „auf Verdacht“ ein, auf das die nachfolgenden Bauherren zum benötigten Zeitpunkt zugreifen können bzw. sollen, um das Rohstoffpotential aus Bau- und Abbruchabfällen in einen Wirtschaftskreislauf zu bringen.

Für das soeben erwähnte Baustofflager sind aufgrund der Größe des Kasernenareals ausreichend Flächen für die Trennung und Aufbereitung der Mineralstoffe sowie deren Lagerung vorhanden, auch wenn Materialmengen in dieser Größenordnung und die Komplexität der Bauaktivitäten enorme logistische Anforderungen an das Stoffstrommanagement stellen. Baufeldfreimachung und Neubebauung setzen sich für einen Zeitraum von ca. 10 Jahren aus einer Vielzahl von Einzelbaumaßnahmen zusammen. Normalerweise wird Material im Zuge des Abbruchs abgefahren. Die Vorhaltung von Abbruch- und Bodenmaterial über einen solchen Zeitraum ist derzeit noch unüblich und erfolgt zu dem Zweck, später als Rohstoffe zur Verfügung gestellt werden zu können. Ziel des Recycling-Projekts ist es außerdem, Materialtransporte zu minimieren.

Im Rahmen einer Potenzialanalyse ist zunächst festzustellen, welche Baustoffe die erforderlichen Eigenschaften aufweisen, um wieder als Rohstoff verwendet zu werden bzw. welche Aufwendungen erforderlich sind, um diese Eigenschaften wiederherzustellen. Hier ist bei jedem Gebäude differenziert zu beurteilen, welcher Aufwand in die Herstellung eines möglichst sortenreinen und schadstofffreien Baustoffs aus den Abbruchmaterialien gelegt werden muss, der in einem vernünftigen Verhältnis zum erwarteten Nutzen stehen muss.

Das gleiche gilt für die Bearbeitung des Bodens, der infolge seiner Nutzungsgeschichte in seiner Zusammensetzung mehrfach verändert wurde und frei von Einbauten, Schadstoffen und Kampfmitteln an die nachfolgenden Nutzer übergeben werden muss.

Mit den aktuell verfügbaren Aufbereitungstechnologien sollen die ursprünglichen Ausgangsstoffe möglichst vollständig zurückgewonnen werden. Während es früher darum ging, Bau- und Abbruchabfälle zu entsorgen, rücken diese nunmehr als Rohstoffquelle und somit als Wirtschaftsfaktor in den Vordergrund. Ausgangspunkt hierfür ist eine sorgfältige, weitgehend händische Entkernung und ein maschineller selektiver Rückbau. Im Rahmen einer ökonomischen und ökologischen Gesamtbetrachtung sind sowohl alle technischen Randbedingungen als auch die entsprechenden Alternativen eingehend abzuwägen. Eine diesbezüglich getroffene Entscheidung muss dann auch konsequent zu Ende geführt werden, denn es wäre nicht sinnvoll, Material aufwändig aufzubereiten, um es sodann einem „Downcycling“ zuzuführen, für das auch ein Herstellungsprozess mit geringerem Aufwand ausgereicht hätte.

Neubauten aus Sekundärrohstoffen sollen unter der Voraussetzung entwickelt werden, dass sie mit Bauten aus „klassischen“ Primärrohstoffen hinsichtlich Preis und Qualität vergleichbar sind und somit einen positiven Beitrag für den Wirtschaftskreislauf leisten können. Aus bautechnischer Sicht wurde aufgezeigt, dass sich RC-Baustoffe erzeugen lassen, die den Umwelanforderungen entsprechen, gegenüber Primärbaustoffen gleichwertig sind und sich sowohl im Hochbau als auch im Tiefbau einsetzen lassen. Neben den bisher üblichen Einsatzbereichen von rezyklierten Gesteinskörnungen im Straßen- und Wegebau oder bei Verfüllungen von Gruben ergeben sich bei sorgfältiger Aufbereitung mittlerweile weitere Einsatzbereiche im Erd- und Hochbau:

Die hochwertigste Form von Recycling stellt nunmehr der Einsatz von Betonbruch oder Mauerwerksbruch in gebundener Form im Hochbau („Upcycling“) dar. Entsprechend den wertgebenden Eigenschaften können aus Bau- und Abbruchabfällen für den Einsatz im Hochbau qualitativ hochwertige Produkte als RC-Beton mit denselben Eigenschaften wie herkömmlicher Beton hergestellt werden. Voraussetzung für eine solche Produktion ist die Wiederherstellung von möglichst reiner Gesteinskörnung im Rahmen eines Abbruch- bzw. Rückbauvorhabens.

Die RC-Betone unterliegen den gleichen Anforderungen und Regelwerken wie konventionelle Betone, wobei sich die technische Normgebung aktuell noch in der Entwicklung befindet. Die Zusammenhänge der europäischen und deutschen Normen in Bezug auf Gesteinskörnung und RC-Beton sind relativ komplex; der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton legt konkrete Anforderungspotentiale hinsichtlich der zugelassenen Mischverhältnisse mit rezyklierter Gesteinskörnung in Beton fest. So wird hier bspw. festgeschrieben, dass derzeit eine Beimischung von bis zu 45 Vol.-% an recycelter Gesteinskörnung erlaubt ist.

Bautechnisch haben sich auch Anteile von 100 % als geeignet erwiesen und wurden in der Praxis anhand von Demonstrationsvorhaben bereits umgesetzt. Nachdem dies aber vom derzeit gültigen Regelwerk nicht gedeckt es, bedarf es hierfür jeweils einer entsprechenden Zulassung im Einzelfall.

So konnte die exakte Betrachtung des RC-Projekts Bayernkaserne folgende Punkte nachweisen:

- Die technischen Möglichkeiten sind bereits vorhanden, um eine qualitativ hochwertige rezyklierte Gesteinskörnung für den Einsatz im Beton zu produzieren
- Rezyklierte und natürliche Gesteinskörnungen sind qualitativ gleichwertig
- RC-Beton kann beim Einbau genauso gehandhabt werden wie Normalbeton

Damit gilt Hypothese 1 (Abbruchgebäude können als Materiallager von Sekundärrohstoffen verstanden werden. Die Herstellung von Recycling-Produkten kann so den Einsatz von Primärressourcen teilweise ersetzen und damit deren Gesamtbedarf sowie deren Nachfrage deutlich verringern.) als angenommen.

Die nötigen Voraussetzungen wurden für die Rückführung von Bau- und Abbruchabfällen in den Wirtschaftskreislauf aufgezeigt und deren Umsetzbarkeit belegt. Im vorliegenden Fall können Nachfrage und Angebot ideal aufeinander abgestimmt werden, da in einem entstehenden Neubaugebiet Baustoffe jedweder Art einen Einsatzort finden. Im Rahmen der Neubebauung des Areals werden zwar weitaus größere Mengen an Baustoffen benötigt als hier bei der Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen produziert werden könnten. Es ist jedoch nicht möglich, eine noch größere Menge an Bau- und Abbruchabfälle bzw. Boden aufzubereiten, denn von Relevanz sind nicht sämtliche technischen Aufbereitungsmethoden, sondern nur diejenigen, die den „Schutz von Mensch und Umwelt am besten“ gewährleisten. Somit ist eine Aufbereitung des gesamten Materials (1,2 Mio. t) möglich. Aufgrund der lokalen Aufbereitung und Verwertung innerhalb desselben Areals reduzieren sich analog auch die Transportwege. Die hier gewählte Vorgehensweise mit einer Aufbereitung von 50% leistet im vorliegenden Fall einen optimalen Beitrag

Auf Basis dessen konnte im Anschluss eine ökonomische wie ökologische Prozessbetrachtung vorgenommen werden, im Rahmen derer die in dieser Arbeit vorgeschlagene Verwertungsmethode (Szenario 1) der Beseitigungsmethode (Szenario 2) gegenübergestellt wurde. Dafür wurden für alle nötigen technischen Verfahrensschritte konkrete Preise evaluiert und den entsprechenden Kostenstellen zugrunde gelegt sowie ökologische Komponenten wie Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Ausstoß bewertet. Dabei bestand der Fokus nicht darin, die betriebswirtschaftlich günstigere Variante zu ermitteln, sondern gemäß den Vorgaben des KrWG festzustellen, ob die Verwertungsmethode (Szenario 1) außer Verhältnis zu den Kosten einer vollständigen Beseitigung steht. Die umfassende Kalkulation aller Maßnahmen sowie deren Verrechnung mit den Maßnahmen des jeweiligen Alternativszenarios konnten eindeutig beweisen, dass dies nicht der Fall ist. Im Gegenteil: Das Verwertungsszenario hat sowohl ökonomisch als auch ökologisch deutliche Vorteile, welche sich maßgeblich aus den Faktoren Nähe und Entfernung von Deponierungsmöglichkeiten und Bezugsquellen ergeben.

Damit gilt Hypothese 2 (Das Verwertungsszenario ist sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Hinsicht profitabler als das Beseitigungsszenario.) als angenommen.

Somit wurde die Wirtschaftlichkeit der „Vor-Ort“ Produktion von RC-Beton für den anschließenden Wiedereinsatz im Neubau abgebildet.

Alle Ausführungen dieser Arbeit haben darauf abgezielt, eine generell regelkonforme, aber auch möglichst ökonomisch wie ökologisch effiziente Verwertung der anfallenden Bau- und Abbruchabfälle auf dem Gelände sicherzustellen, um schließlich einen störungsfreien Ablauf für die Neubebauung zu gewährleisten. Das Demonstrationsvorhaben kann dazu beitragen, die Branche für die Machbarkeit derartiger nachhaltiger Bauweisen zu sensibilisieren und Unsicherheiten bzw. Unkenntnis im Umgang mit Recycling-Material abzubauen. Denn trotz Zertifizierung hochwertiger Recycling-Baustoffe und steigender Beschaffungskosten für Primärbaustoffe werden Recycling-Baustoffe in München immer noch zu wenig akzeptiert und nachgefragt. Ohne Kooperation mit weiteren Partnern wird jedoch keine Ressourceneffizienz erreicht werden können.

## 8 Handlungsempfehlungen

Der Einsatz von Sekundärrohstoffen ist von einer entsprechenden Nachfrage abhängig. Aufgrund der für die nächsten Jahrzehnte quantitativ gesicherten Verfügbarkeit von Primärrohstoffen in der Region München hat sich bisher kein Markt für Sekundärbaustoffe entwickelt. Der Aufbau eines solchen Marktes hängt deshalb vom Engagement von Pionierunternehmen ab. Die Stadt kann hier eine zentrale Rolle einnehmen, ist jedoch auch auf das Zusammenwirken mit mehreren weiteren Akteuren angewiesen. Dabei können die erwünschten Effekte bezüglich Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit nicht erzielt werden, wenn lediglich Einzelmaßnahmen umgesetzt werden. Auch das Vorhaben „Baufeldfreimachung Bayernkaserne“ wird eine solche Einzelmaßnahme bleiben, sofern hieraus nicht eine interdisziplinäre Herangehensweise aller relevanten Akteure (siehe Abbildung 31) entwickelt wird.



**Umweltverbände**

- Informations
- Fachtagungen
- Netzwerke

**Hochschule**

- Studiengang ressourcenschonendes Bauen

**Architekten-Ingenieurkammer**

- Schulungen
- Fachtagungen



**Politik**

- Regelwerke vereinfachen
- Forschungsprogramme
- Vereinbarungen
- Image von RC-Baustoffen verbessern

**Kommune / Landkreis**

- Schulung Mitarbeiter
- Netzwerke bilden
- Boden- und Bauschuttbörsen bilden
- Produktneutrale Ausschreibung
- Bevorzugter Einsatz RC-Baustoffe
- Einführung Materialpass

**Ministerien**

- Richtlinien
- Leitfaden
- Fachtagungen
- Förderprogramme
- Vorbildfunktion eigene Bauvorhaben
- Öffentlichkeitsarbeit

**Baubehörden**

- Dokumentation Baubestand
- Planen & Prüfen erleichtern
- Information
- Neue Methoden & Technologien unterstützen

**Immobilienwirtschaft**

- Einsatz RC-Baustoffe
- Bewertung Nachhaltigkeit



**Betonproduzenten**

- Weiterentwicklung Betonrezepturen
- Vermehrte Bereitstellung gütegesicherter RC-Baustoffe

**Abbruchunternehmen**

- Strategie auf selektiven Rückbau einstellen
- Zusammenarbeit mit Recyclingbörsen

**Recycling-Betriebe**

- Entwicklung von Lösungsstrategien für Vorsiebmaterialien und Brechsande

**Maschinenbau**

- Weiterentwicklung Maschinen
- Brechen / Sieben / Aufbereiten

Abbildung 31: Handlungsfelder relevanter Akteure bei der Etablierung von Sekundärrohstoffen (eigene Darstellung)

Die nachfolgenden Empfehlungen zeigen Handlungsfelder auf, welche Beiträge die Stadt leisten kann.

## 8.1 Strategie Abbruchmaßnahmen

Die Stadt sollte bei der Planung aller Abbruchvorhaben eine ökonomische und ökologische Gesamtbetrachtung vornehmen und sodann die technische Vorgehensweise, Logistik und Entsorgungsabläufe festlegen. Bereits im Vorfeld solcher Abbruchmaßnahmen sollte abgeklärt werden, ob im Rahmen von Neubaumaßnahmen eine Verknüpfung von Stoffströmen möglich ist. Im Idealfall steht jeder Neubaumaßnahme infolge eines in der Nähe stattfindenden Abbruchvorhabens ein entsprechendes anthropogenes Rohstofflager zur Verfügung. In eine solche Stoffflussbetrachtung sollten auch private Bauherren und Abbruchunternehmen einbezogen werden. Damit könnte im Umfeld (ca. 10 km) jeder größeren Abbruch- und Stadtentwicklungsmaßnahme ein entsprechender Markt geschaffen

werden, in dem die Akteure ihren Entsorgungs-, Verwertungs- oder Beschaffungsbedarf einbringen können.

## 8.2 Organisation

Ressourceneffizienz ist ein Querschnittsthema. Bei der Stadt ist derzeit kein Ressort für die umfassende Thematik der „Ressourceneffizienz“ allein zuständig. Die vorhandenen Aktivitäten verteilen sich deshalb auf viele unterschiedliche Ansprechpartner innerhalb der Verwaltung und werden dadurch nicht als eigenständiges Thema behandelt, so dass die Bedeutung der Ressourceneffizienz unter zahlreichen anderen Begriffen nur sektoral angegangen wird. Derzeit bestehen Zuständigkeiten jeweils für Teilbereiche in unterschiedlichen Referaten (Abfallwirtschaftsbetriebe, Referat für Gesundheit und Umwelt, Baureferat, Vergabestellen, Kommunalreferat, Geodatenservice, Referat für Stadtplanung und Bauordnung). Die zwingend notwendige einheitliche Vorgehensweise zur Verfolgung gemeinsamer und konsistenter Ziele ist jedoch nirgends zentral zugeordnet.

Der entscheidende Durchbruch, um Sekundärrohstoffe zu etablieren, müsste nämlich seitens der öffentlichen Hand erfolgen, die mit eigenen Vorhaben auf den Markt Einfluss nehmen könnte. Fraglich ist jedoch, ob die öffentliche Hand überhaupt über die dazu erforderlichen Kenntnisse verfügt. Um Ziele definieren und Strategien erarbeiten zu können, müssten Mitarbeiter zunächst entsprechend geschult werden. Daher ist also eine gewisse Vorlaufzeit notwendig, um sich auf die neuen Herausforderungen, die im Rahmen der Nachhaltigkeitsthematik entstanden sind, vorzubereiten. Mittlerweile werden von verschiedenen Bildungsträgern entsprechende Seminare, Fachtagungen und Lehrgänge angeboten. Auch sollten bereits bestehende Servicestellen und bspw. Workshops des Deutschen Instituts für Urbanistik (Difu) genutzt werden.

Darüber hinaus sollte schon zu Beginn der Projektplanungen bevorzugt mit bereits qualifizierten Architekten und Ingenieuren zusammengearbeitet werden, um Rahmenplanungen, die Überwachung der Stoffströme und ihre bestmögliche Wiederverwendung spezifisch vorzubereiten und in die Wege zu leiten.

Es wird empfohlen, eine eigene Anlauf- und Koordinationsstelle „Sekundärrohstoffe“ sowie eine Projektstruktur mit entsprechenden Koordinationsaufgaben zu schaffen. Den Anfang müssten die jeweiligen Fachreferate und Betriebe innerhalb der Stadtverwaltung sowie die städtischen Wohnungsbau-gesellschaften machen, die ihre jeweils vorhandenen Daten anhand eines digitalen Bausubstanzmodells miteinander verknüpft sollten.

### 8.3 Beteiligung an Netzwerken

Die Stadt sollte Strukturen für ein Stoffstrommanagement erstellen, indem Daten zu Stoffströmen, Lagerplätzen und Einsatzmöglichkeiten erfasst und den maßgebenden Akteuren zur Verfügung gestellt werden. Die bereits in größerer Zahl vorhandenen Netzwerke in Deutschland zum Themenbereich Ressourceneffizienz sollten deutlich besser genutzt werden.

In einem Pilotprojekt zur Umsetzung einer integrierten „Strategie zu Umweltgerechtigkeit“, ein Projekt in deutschen Kommunen, an dem sich auch die Stadt München beteiligt hat, wurde das Thema „Ressourcen“ jedoch nicht aufgegriffen (Böhme et al. 2019, S. 80ff). Dies zeigt, dass das Thema „Sekundärrohstoffe“ in einem übergeordneten Themenfeld „Umweltgerechtigkeit“ noch eine untergeordnete Rolle spielt. Deshalb müssen gezielt diejenigen Netzwerke gesucht werden, die sich mit Sekundärrohstoffen in der Baubranche befassen. Dazu gehört insbesondere das Informationsportal „Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums des Innern für Bau und Heimat“, das „Netzwerk Ressourceneffizienz“ (NeRes), das Netzwerk „Bildung für Ressourceneffizienz“ (BilRes), das Netzwerk des Deutschen Instituts für Urbanistik (KommRes) sowie das Netzwerk „URBACT“.

Aus den Netzwerken ergeben sich nützliche Kontakte, um sich mit denjenigen Städten auszutauschen, die bereits entsprechende Erfahrungen aufweisen oder derzeit vergleichbare Vorhaben initiieren. Insbesondere sind es praktische Erfahrungsberichte über die Einsatzmöglichkeiten und das Langzeitverhalten von RC-Baustoffen, die dazu beitragen können, Vorbehalte gegen RC-Baustoffe abzubauen und den Wissenstransfer in der Branche zu verstärken.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung sind vor allem regionale Bündnisse, die über die klassischen Akteure der Abfallwirtschaft hinausgehen. Hierbei sind regionale Marktpotenziale zu klären und zu publizieren. Auch könnte die Stadt selbst eine Art „Baustoffbörse“ bereitstellen.

Außerdem sollte ein intensiver Austausch mit den Branchenvertretern vor Ort in Form von Fach- und Informationsgesprächen gefördert sowie die Zusammenführung aller zentralen Informationen mittels einer eigenständigen umfassenden Informationsplattform im Internet initiiert werden.

Spitzenverbände sind verstärkt einzubinden, um das grundsätzliche Image von Sekundärrohstoffen zu verbessern und die Lobby-Arbeit zu verstärken.

Ein wesentliches Hemmnis besteht derzeit noch in fehlenden Informationen zur Vorgehensweise und den Einsatzmöglichkeiten im Umgang mit Recycling-Baustoffen. Zur Überwindung der rechtlichen und technischen Unsicherheiten müssten Bauherren also besser informiert sein. So könnten bereits bei der Planannahme des Referats für Stadtplanung und Bauordnung entsprechende Informationen erteilt und die Bauherren dazu angehalten werden, Naturbaustoffe und RC-Baustoffe produktneutral und vorrangig auszuschreiben und einzusetzen. In diesem Zusammenhang sollte auch dazu beraten werden, wie Haftungsrisiken für Bauunternehmen minimiert werden können.

#### 8.4 Beteiligung an Forschungsprojekten

Es wird vorgeschlagen, gemeinsam mit Verbundpartnern entsprechende Fördermittel des BMBF „ReMin“ (siehe Kapitel 4.7) zu beantragen, um den Themenschwerpunkt „Verwertung von mineralischen Stoffströmen aus Baurestmassen“ weiter zu entwickeln (BMBF 2019). Die hierfür erforderlichen Verbundpartner der Stadt könnten sich z.B. aus der Hochschule München, dem Landesverband Bayerischer Bauinnungen, der Baustoffwirtschaft sowie einem Abbruchunternehmen zusammensetzen. Das Bauvorhaben Bayernkaserne könnte hier als Forschungsprojekt und Demonstrationsvorhaben angegeben werden.

#### 8.5 Eigene Bauvorhaben zur Demonstration

Die Bauwirtschaft orientiert sich vornehmlich an den Faktoren Standort, Vermarktung und Preis. Solange in der Münchner Region Kiese und Sande in ausreichenden Mengen vorhanden und diese mit geringerem Prüf- und Kostenaufwand zu erwerben sind, besteht für die Bauwirtschaft kein Anlass, sich auf Unsicherheiten in Bezug auf die Werkstoffeigenschaften von RC-Material einzulassen. Somit kommt Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung trotz gleicher Eignung in München bislang kaum Bedeutung zu. Der Markt wird RC-Produkte aber erst dann annehmen, wenn mit geringem Zeitaufwand und niedrigen Sachkosten ein großer Nutzen verbunden ist. Hinsichtlich der bautechnischen Eigenschaften scheint der Bauwirtschaft die Arbeit mit RC-Beton derzeit noch zu kompliziert und unausgereift zu sein.

Durch eine 2013 in Kraft getretene Berliner Verwaltungsvorschrift "Beschaffung und Umwelt – VwVBU" verfügt Berlin seit diesem Zeitpunkt über ein geeignetes Instrument, um bei öffentlichen Gebäuden künftig die sortenreine Separierung von Beton beim Gebäuderückbau sowie auch (teilweise) den Einsatz von RC-Beton beim Neubau über ökologische Mindestkriterien verbindlich zu fördern. Früher oder später braucht auch München eine solche Regelung schon deshalb, weil aufgrund der Lebensdauer von Beton die Bauten aus den 1960er Jahren in absehbarer Zeit beseitigt werden müssen. Zudem wird es in einigen Jahren keine Deponiekapazitäten mehr geben. Die Umorientierung müsste daher schon jetzt in die Wege geleitet und anhand von Demonstrationsvorhaben vorbereitet werden, bevor es dafür zu spät ist und man in Zukunft vor weitaus größeren Herausforderungen steht.

Es wird empfohlen, anhand der Erfahrungen in anderen Bundesländern, vornehmlich in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Berlin, mit Pilotprojekten die ersten Schritte vorzunehmen.

Innerhalb der Stadtverwaltung München gibt es bislang kein verbindliches Konzept für den Einsatz von RC-Baustoffen in städtischen Bauprojekten; derzeit muss jedes Konzept individuell erstellt werden. Im Hinblick auf die fortschreitende Entwicklung in der Betontechnologie sollte die Stadt daher

ihre Richtlinien anpassen und begleitend hierzu eine wissenschaftliche Machbarkeitsstudie zu den aktuellen Einsatzmöglichkeiten beauftragen.

Die Stadt selbst könnte sich durch eine Änderung ihrer Hochbaurichtlinien zum Ziel setzen, eigene Bauvorhaben ganz oder zumindest in Teilen mit RC-Material durchzuführen. Zugleich sollten bereits beim Neubau entsprechende Handlungsanleitungen für Rückbaukonzepte erstellt und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. In Zusammenarbeit mit der Staatsregierung sollten Konzepte dafür entwickelt werden, wie die Anwendung von Qualitätsstandards in Bezug auf RC-Baustoffe die praktische Umsetzung erleichtern könnte und somit auch Kosten für die Zertifizierung und Güteüberwachung bzw. Qualitätskontrolle gesenkt werden könnten.

Potenzielle neue Einsatzgebiete für RC-Baustoffe sollten auf der Homepage der Stadt hervorgehoben und gezielt publiziert werden. Die öffentliche Hand sollte den Vollzug der Kreislaufwirtschaft im Bausektor durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit fördern und aufgrund ihrer Vorbildfunktion in die Praxis umsetzen. Demnach sollte sie exemplarisch bei ausgewählten Bauvorhaben (z.B. Schule, Kindergarten, Feuerwache, Bibliotheken, Freizeithem) RC-Beton einsetzen und damit die Vorteile von RC-Material aufzeigen. Die Voraussetzungen in der Bayernkaserne wären hierfür gegeben.

## 8.6 Planen und Bauen

Es wird empfohlen, bei Bebauungsplänen kontinuierlich den Recyclingaspekt zu berücksichtigen und konkrete Einsatzorte auch für solche RC-Baustoffe auszuweisen, die zwar nicht im konstruktiven Hochbau verwendet, aber sehr wohl in ungebundener Form gut eingesetzt werden können (z.B.: Rodelhügel, Lärmschutzwälle). Allerdings spielen Sekundärbaustoffe im Rahmen von Wettbewerben bei der Stadtgestaltung bislang kaum eine Rolle.

Das im ökologischen Kriterienkatalog der Stadt enthaltene Kriterium „Baustoffe“ müsste näher konkretisiert werden; der Kriterienkatalog ist für alle Baumaßnahmen auf städtischen Grundstücken verpflichtend und mit Vertragsstrafen hinterlegt. Mit der aktuellen Formulierung, es „sollen nur Baustoffe verwendet werden“, die „wiederverwendet“ werden können, wird das tatsächliche Potenzial der Sekundärrohstoffe nicht hinreichend genug deutlich gemacht (LHM 2017, Ziff.2). Auch werden im Kriterienkatalog Fördermaßnahmen und zinsverbilligte Kredite genannt, welche um das Thema „ressourcenschonendes Bauen“ erweitert werden sollten. Die bei Bauvorhaben obligatorische Beratung in Bezug auf „Energieeffizienz“ sollte auf „Materialeffizienz“ erweitert werden (LHM 2017, Ziff.9).

## 8.7 Vergaben

Die Akzeptanz für den Baustoff RC-Beton ist in München noch auf entsprechende Impulse und die Initiative von Bauherren und Baustofflieferanten, die sich der Nachhaltigkeit verpflichtet fühlen, angewiesen.

Wie in der Arbeit aufgezeigt wurde, besteht der „Beton der Zukunft“ aus rezyklierten Baustoffen. Den Gebäudebestand künftig als Rohstofflager für Neubauten zu betrachten, würde aber in Konsequenz bedeuten, dass in ein etabliertes Marktsystem eingegriffen werden müsste. Solange Bauherren die Abbruch- und Neubauvorhaben aber nach rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten vergeben und Primärrohstoffe dabei günstiger angeboten werden als Sekundärrohstoffe, werden die Akteure vom herkömmlichen Verfahren nicht abweichen. Sekundärrohstoffe werden vielmehr erst dann bevorzugt eingesetzt, wenn wirtschaftliche Gründe dies nahelegen. Dies ist der Fall, wenn sich entweder die Einkaufspreise von Primärrohstoffen aufgrund Verknappung spürbar erhöhen, wenn bei der Deposition noch höhere Hürden gesetzt werden oder wenn die Transportkosten zu einem entscheidenden Faktor für ein Umdenken werden. Die Frage ist, wie die Stadt mit dem hier vorliegenden Pilotprojekt auf dieses Umdenken Einfluss nehmen kann und ob noch weitere Impulse folgen müssen, damit dies von Akteuren der Baustoffwirtschaft auch als richtungsweisender Schritt wahrgenommen wird.

Gemäß § 45 Abs. 1 Ziff.2 KrWG ist (lediglich) zu „prüfen“, ob Bau- und Abbruchabfälle unter besonderer Beachtung des Vorrangs der Vorbereitung zur Wiederverwendung und des Recyclings verwertet werden können. Somit kommt dem Auftraggeber bei der Zuschlagsentscheidung ein Beurteilungsspielraum zu, bei dem er die gewünschten Umweltgesichtspunkte bewerten und gewichten kann. Wenn die Stadt im konkreten Fall die Gründe für eine Bevorzugung von RC-Material für gegeben hält, könnte sie dies vergaberechtlich auch begründen und somit umsetzen. Diesen Aspekt sollte die Stadt künftig bei allen eigenen Vorhaben konsequent so handhaben.

Allerdings müsste dann berücksichtigt werden, dass eine solche Umstellung gegebenenfalls auf einen hierauf bislang nicht vorbereiteten Markt treffen würde. Nachdem RC-Beton nämlich derzeit nicht flächendeckend im Lieferprogramm der Betonproduzenten in der Region München enthalten ist, würden Ausschreibungen für RC-Produkte oder RC-Verfahren voraussichtlich zunächst ins Leere laufen. Bevor die ersten Ausschreibungen dieser Art veröffentlicht werden, ist somit ein zeitlicher Vorlauf für die Entwicklung von neuen Betonrezepturen und für die erforderlichen Prüfungen notwendig. Damit hätten Recyclingunternehmen sowie Betonhersteller eine gewisse Vorlaufzeit, um sich auf die neuen Begebenheiten einzustellen.

## 8.8 Lebenszyklusbetrachtung

Beim Erlass von Bebauungsplänen wird empfohlen, entsprechende Zielsetzungen zur Nachhaltigkeit nicht nur in Bezug auf Energie und Mobilität, sondern auch in Bezug auf die Baustoffe gemäß

den gesetzlichen Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes aufzunehmen. Dies gilt vor allem auch für die Immobilien der Stadt und der städtischen Wohnungsbaugesellschaften. Die Qualität einer Immobilie ergibt sich vor allem aus einer gesamtheitlichen Betrachtung in Bezug auf den Lebenszyklus eines Bauwerks, der sich aus den Phasen Planung, Errichtung, Nutzung einschließlich Instandhaltung, Modernisierung sowie Rückbau, Verwertung und Entsorgung zusammensetzt.

Zum Zeitpunkt der Errichtung eines Gebäudes liegt dessen Abbruch bzw. Rückbau noch in weiter Ferne. Die Baugenehmigung für den Neubau enthält keine Regelungen oder Anordnungen, wie in Zukunft mit dem Bauwerk zu verfahren ist. Der Rückbau ist, je nach Einstufung der Gebäudeklassen, entsprechend den Landesbauordnungen der Bundesländer genehmigungsfrei, so dass auch an dieser Stelle keine Anordnungen festgeschrieben sind, wie beim Abbruch konkret zu verfahren ist.

Diesbezügliche Regelungen bestehen bislang nur bei Offshore-Windenergieanlagen. Aufgrund der verhältnismäßig kurzen Nutzungszeit dieser Anlagen (ca. 20 Jahre) schreibt das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) bereits im Zuge des Genehmigungsverfahrens vor, dass nach endgültigem Aufgeben der Anlage ein Rückbau stattzufinden hat (DLR 2019).

Eine vergleichbare „End of Life“-Betrachtung ist ansonsten gesetzlich nicht vorgeschrieben. Die Stadt ist aber nicht daran gehindert, im Zuge eines Neubaus für alle stadt-eigenen Bauwerke eine Lebenszyklusanalyse durchzuführen, so dass das Gebäude auch aus der künftigen Sicht eines Abbruchunternehmens betrachtet werden könnte. Austauschzyklen und Rückbau würden damit fester Bestandteil des Planungsprozesses werden. Folglich ist es sinnvoll, Material und Verbund in einem Gebäudepass zu dokumentieren. Der Gebäudepass beinhaltet im Sinne eines Gebäude-Handbuchs und einer Bestandsdokumentation wichtige Gebäude-Kenn-daten und Betriebsanweisungen in konzentrierter Form (BMUB 2016c, S. 18). Er ist für die Nutzungsphase (Betrieb) und zur Dokumentation der Gebäudegeschichte (wichtig bei Umbaumaßnahmen und Rückbau) von besonderer Relevanz. Es werden die bereits in der Planung abgefragten Eckdaten aufgenommen; so könnte man schon zum Zeitpunkt des Neubaus, parallel zur „Aufbauanleitung“, eine entsprechende „Rückbauanleitung“ erstellen.

Die Kenntnis erspart nicht nur aufwändige Recherchen und Begutachtungen am Ende der Nutzungszeit über das Materialinventar, sondern schafft auch ein Bewusstsein für den verwendeten Baustoff. Diesem Aspekt kommt auch deswegen große Bedeutung zu, da zum jetzigen Zeitpunkt immer noch Stoffe verbaut werden, deren Wirkung auf Mensch und Umwelt noch nicht nachgewiesen ist.

## 8.9 Erstellen eines Gebäudekatasters

Um einen Überblick über sämtliche im Stadtgebiet verwendeten Baustoffe zu bekommen, sollte die Stadt ein Gebäudekataster erstellen (Kohler et al. 1999, S. 227), da für die Analyse von Stoffströmen entsprechende Daten benötigt werden. In regionalen Statistiken werden zwar neue Bauwerke er-

fasst, jedoch keine Abbruchtätigkeiten. Demnach könnten derzeit nur aus pauschalen Abbruchquoten entsprechende Stoffstromanalysen abgeleitet werden. Das Ziel sollte jedoch sein, anhand von konkreten Daten das bislang entstandene Rohstofflager systematisch zu bewirtschaften, um künftige Stoffströme zu prognostizieren und aus Bauwerken Sekundärrohstoffe zu gewinnen (Bringezu 2000, S. 148). Realistisch gesehen kann es Jahre dauern, um stadintern ein solches Bauwerkskataster zu erstellen. Unterstützend hierzu können Geodaten auch über mehrdimensionale Stadtmodelle eingeholt werden (Borrmann et al. 2015, S. 181). Der erste Schritt kann in Zukunft bei anstehenden Neubauten gemacht werden, da hier der Erfassungsaufwand hinsichtlich der verbauten Baustoffe aufgrund standardisierter Verfahren relativ gering ist. Es wäre zu prüfen, welche Erhebungsschritte erforderlich wären, um auch bei Bestandsgebäuden entsprechende Daten zu erhalten. Hier kann auf vorhandene Untersuchungen der TU München (Ott und Hausmann 2015), der TU Wien (Markova und Rechenberger 2011) oder auf EU-Ebene im Rahmen des BAMB Projekts (Mullhall et al. 2017) zurückgegriffen werden.

## 8.10 Bewertung

Die Baufeldfreimachung ist Voraussetzung für eine wirtschaftliche Verwertung des Grundstücks. Altlasten werden nach Maßgabe des § 6 Abs.5 ImmoWertV bei der Bodenwertermittlung berücksichtigt (Kleiber 2017, S. 857 ff). Bei einer Veräußerung des Grundstücks mit den noch vorhandenen (Abbruch-)Gebäuden wird der Bodenwert nach § 16 Abs.3 ImmoWertV um die Freilegungskosten entsprechend gemindert (Kleiber 2017, S. 1669).

Bei der Ermittlung des Verkehrswertes gehören als „Grundstücksmerkmal“ auch Bauart und Zustand des Gebäudes zu den tatsächlichen Eigenschaften eines Gebäudes (Kleiber 2017, S. 857). Nicht nur Lage des Grundstücks und Herstellungskosten, sondern auch die verwendeten und verwendbaren Rohstoffe, somit die Abbruch- und Entsorgungskosten, werden bei der Bewertungspraxis künftig eine noch größere Rolle spielen. Dies gilt auch für die Kenntnis und Dokumentation im Hinblick auf schadstoffhaltige Baustoffe. Jeder Erwerber und Verkäufer berücksichtigt nämlich bei seinen Wert- und Preisvorstellungen nicht nur den heutigen (existing use value), sondern auch den zu erwartenden künftigen Nutzen. Mit Sicherheit zu erwartende künftige Nutzungen sind somit ebenso feste Wert-Bestandteile (best use value) wie mit Sicherheit zu erwartende Kosten, z.B. Abbruchkosten (Ernst et al. 2018, § 194 BauGB RN 15).

## 8.11 Stofffluss Neubauvorhaben

Für das vorliegende Bauvorhaben in der Bayernkaserne wird empfohlen, die logistischen Abläufe beim Erdaushub der Baufelder und für den Antransport des Baumaterials zu prüfen. Gegenstand dieser Arbeit war nur die konzeptionelle Darstellung des Umgangs mit Bau- und Abbruchabfällen in

der Größenordnung von 1,2 Mio. t. (siehe Kap. 5.7). Dieses Material bildet jedoch nur einen vergleichsweise geringen Teil des tatsächlich anfallenden gesamten Stoffstroms ab. Allein für den Aushub der jeweiligen Baugrundstücke in der Bayernkaserne werden weitere ca. 3,5 Mio. t Material anfallen. Dies ist nahezu das Sechsfache der Menge, die nunmehr im Rahmen der Baufeldfreimachung zu entsorgen ist (ca. 600.000 t). Der Aushub der Baufelder erfordert bei entsprechendem Abtransport eine Transportleistung von ca. 250.000 Lkw-Fahrten. Wie eine solche Menge abgewickelt wird, müsste jedoch noch geklärt werden, zumal alle verfügbaren Flächen bereits mit RC-Material belegt sein werden. Geht man von einem kontinuierlichen Abfluss aus, der witterungs- und frostbedingt jedoch nur von März bis November gewährleistet werden kann, würde man für den Abtransport drei Jahre bzw. 567 Arbeitstage<sup>6</sup> benötigen, mit der Maßgabe, dass täglich ca. 440 LKWs bzw. stündlich 55 LKWs (bei 8 verfügbaren Stunden pro Arbeitstag) benötigt werden. Somit würden die LKWs nahezu im Minutentakt das Gelände verlassen, um in drei Jahren die Aushubmenge von 3,5 Mio. t vollständig abzutransportieren.

Demgemäß sollte geprüft werden, ob analog zum Abbruchkonzept auch für das Material „Kies“ ein interner Stofffluss generiert werden kann, zumal etwa dieselbe Menge wieder als Transportbeton zugeführt werden müsste. Aus dem Aushubkies könnte ebenfalls mittels einer mobilen Mischanlage vor Ort Beton hergestellt werden. Eine Aufhaldung des gesamten Materials würde allerdings einen Flächenbedarf von ca. 44 ha<sup>7</sup> erfordern, was nicht möglich ist, weil dies in etwa einer annähernd so großen Fläche wie der Gesamtfläche der Kaserne (48 ha) entspräche. Folglich müsste ein kontinuierlicher Stofffluss von Erdaushub bei der Betonproduktion gewährleistet werden. Nachdem es im Hinblick auf die 34 Baufelder auch eine entsprechende Anzahl von Bauherren geben dürfte, müsste hierzu ein entsprechender Koordinator beauftragt werden. Jedenfalls sollten sich die jeweils zuständigen Fachreferate und die städtischen Wohnungsbaugesellschaften in diesem Kontext zu einer Zweckgemeinschaft zusammenschließen.

Um Transporte in dieser Anzahl zumindest zu reduzieren, sollte geprüft werden, ob es auch andere sinnvolle Einsatzmöglichkeiten in der Bayernkaserne gibt. Insbesondere sollte die flächige Anhebung des Geländeneiveaus erwogen werden. Eine andere Möglichkeit würde auch eine Aufschüttung als „Rodelhügel“ oder als Lärmschutzwall an der Heidemannstraße darstellen (siehe. Kap. 5.7.5).

---

<sup>6</sup> 3 Jahre \* 9 Monate \* 21 Arbeitstage pro Monat = 567 Arbeitstage

<sup>7</sup> 3,5 Mio. t / 8 t pro m<sup>2</sup> (Kapitel 5.8 Logistikkonzeption) = 437.500 m<sup>2</sup>

