

Vergleich von Produktionsdaten (Sollwerte) und Labordaten (Istwerte) zur Ermittlung der praktischen Sollwertabweichungen bei der Asphaltherstellung

FA AiF 13459

Forschungsstelle: Universität der Bundeswehr München, Institut für Verkehrswesen und Raumplanung (Prof. Dr.-Ing. W. Wirth)

Bearbeiter: Opel, A.

Auftraggeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA), Berlin / Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V. (AiF), Köln

Abschluss: Juli 2005

1. Problemstellung und Zielsetzung

In Asphaltmischanlagen wird unter praktischen Betriebsbedingungen systematisch untersucht, wie genau die durch die Eignungsprüfung vorgegebenen und in der Anlagensteuerung eingestellten Sollwerte der Asphaltrezeptur bei der Mischgutproduktion eingehalten werden können (Prüfung der "Rezepturtreue"). Weiterhin wird untersucht, inwieweit – und in welchen Grenzen – hierzu die in modernen Anlagen digital erfassten und aufbereiteten Produktionsdaten (Chargenprotokolle) im Sinne einer verbesserten Produktionssicherheit und als Gütenachweis genutzt werden können.

Im Einzelnen sollten zu folgenden Punkten wissenschaftlich fundierte und durch eine ausreichende statistische Datenbasis abgesicherte Aussagen und entsprechende Empfehlungen für Betrieb und Ausstattung einer Asphaltmischanlage abgeleitet werden:

- Aussagen über die tatsächlich im normalen Mischanlagenbetrieb erreichbare "Rezepturtreue" mit Quantifizierung der systematischen und zufälligen Abweichungen.
- Aussagen darüber, inwieweit sich Daten aus dem Chargenprotokoll unter alltäglichen Betriebsbedingungen zur Gütesicherung bei der Asphaltherstellung und zur Überwachung der Produktion überhaupt eignen, sowie Empfehlungen, in welchem Umfang sie ggf. die Gütesicherung und damit die Produktqualität verbessern helfen können.
- Vergleich der Ergebnisse der Laboranalysen mit den Daten der routinemäßigen Eigenüberwachungsprüfungen und damit Gewinnung genauerer Aussagen über die Repräsentativität der letzteren.
- Empfehlungen für steuerungs- und anlagentechnische Verbesserungen zur Erreichung einer größeren "Rezepturtreue".

Das Vorhaben wurde aus Mitteln des BMWA im Rahmen der AiF-Forschung gefördert.

2. Untersuchungsmethodik

Um den Vergleich von Laboranalysedaten des Asphaltmischguts mit den Einstellungsdaten der Mischanlagensteuerung durchzuführen, werden im normalen Mischanlagenbetrieb stichprobenhaft Mischgutproben – möglichst nahe am Mischer-auslauf – entnommen und mit den entsprechenden "Sollwerten" der Rezepturvorgabe, die in der Anlagensteuerung eingestellt sind, verglichen. Da nicht alle Randbedingungen der Mischgutproduktion, die einen Einfluss auf "Rezepturtreue" und Mischgutqualität haben können, systematisch variiert werden können

(Beschränkung der wirtschaftlich vertretbaren Gesamtprobenzahl!), werden die erfahrungsgemäß wichtigsten Einflussgrößen als Variationsmerkmale für den Probenplan (s. u.) verwendet: Mischgutart/-sorte (im weiteren vereinfachend "Mischgutsorte" genannt) und die Asphaltmischanlage (im Sinne der einzelnen Produktionsstätte in einer bestimmten technischen Ausführung). Mit jeweils elf Mischgutproben pro Kombination Mischgutsorte/Mischanlage steht ein statistisch ausreichender Stichprobenumfang zur Verfügung.

Die Auswahl, welche einzelnen Mischgutsorten bzw. Mischanlagen als Variationsmerkmale schließlich in den Probenplan eingestellt werden, erfolgt unter folgenden Gesichtspunkten:

Die Mischgutsorten sollen sich im Größtkorn, in ihrer Neigung zur Entmischung und in den Differenzierungsanforderungen bei der Absiebung unterscheiden. Für die Untersuchung werden die Mischgutsorten Splittmastixasphalt (SMA 0/8 S bzw. SMA 0/11 S), Asphaltbeton (AB 0/8 mit und ohne Asphaltgranulat), Asphaltbinder (Abi 0/22 S) sowie Asphalttragschicht (ATS 0/32 CS mit und ohne Siebumgehung) ausgewählt.

Wegen ihres häufigen Vorkommens und ihrer überwiegenen Bedeutung für den deutschen Markt werden in diese Untersuchung ausschließlich handelsübliche Chargenmischanlagen mit Zwangsmischern einbezogen. Alle Mischanlagen entsprechen dem Stand der Technik. Um maschinen- und/oder steuerungstechnische Unterschiede der einzelnen Mischanlage, die ggf. einen Einfluss auf die "Rezepturtreue" ausüben können, zu erfassen, werden 5 anlagentechnisch unterschiedliche Mischwerke in Bayern für den Probenplan ausgewählt.

Zur Vorbereitung der Mischanlagenauswahl ist eine eingehende anlagen- und steuerungstechnische Analyse einer allgemeinen Chargenmischanlage und speziell der in die Untersuchung einbezogenen 5 Mischanlagen erfolgt, die im Schlussbericht ausführlich dokumentiert ist. Die Maschinenkomponenten werden sowohl im Einzelnen als auch in ihrem Zusammenwirken bzgl. Funktion und Steuerung erläutert. Dabei wird nicht nur der vom Anlagenhersteller vorgesehene "bestimmungsgemäße" Betrieb (die eher theoretischen Charakter hat), sondern auch die tatsächliche Handhabung im praktischen Betriebsalltag des Mischwerks berücksichtigt. Insgesamt werden 264 Mischgutproben genommen. Alle weiteren Daten sind dem Probenplan (Tabelle 1) zu entnehmen.

Die entnommenen Proben werden im Labor der UniBwM bezüglich der Anteile [M.-%] ihrer Baustoffkomponenten analysiert. Die Analysedaten der Mischgutproben ("Istwerte") und daraus berechnete Folgegrößen werden chargenscharf in einer Datenbank abgelegt. Ebenfalls in diese Datenbank eingegeben werden die übernommenen Daten aus den in der Anlagensteuerung vorgenommenen Rezeptureinstellungen, den Chargenprotokollen, den Eignungsprüfungen, teilweise auch aus den Eigenüberwachungsprüfungen, sowie aus den Asphaltgranulatanalysen, die jeweils den einzelnen Chargen zugeordnet sind.

Um die Vergleichbarkeit der Daten sicherzustellen müssen verschiedene Korrekturrechnungen durchgeführt werden: Die Auswertung des Asphaltmischguts mit Asphaltgranulat liefert nur vergleichbare Ergebnisse, wenn der dem Mischgut zugegebene Asphaltgranulatanteil rechnerisch in seine Bestandteile – Bindemittel und Mineralstoffe – zerlegt und zu den neu hinzugefügten Ausgangsstoffen addiert wird. Bei den Mischgutsorten

SMA 0/11 S und SMA 0/8 S ist der Faserstoffanteil zu berücksichtigen. Da im Labor eine genaue Ermittlung des Faserstoffanteils nicht möglich ist und davon ausgegangen werden kann, dass alle Faserstoffe im Füller enthalten sind, werden, um vergleichbare Kenngrößen zu erhalten, bei der Auswertung dieser Mischgutsorten die Faseranteile dem Füller zugeordnet. Um die Rezepturwerte und die Chargenprotokollwerte mit den Laborwerten vergleichen zu können, müssen die Rezepturwerte und Chargenprotokollwerte für Füller und Faserstoffe summiert werden. Außerdem werden die Daten der Laboruntersuchungen um den Siebverlust und unlöslichen Bindemittelanteil mittels Korrekturrechnung berichtigt.

Die Auswertung der Daten erfolgt in mehreren Schritten. Die Systematik der Gegenüberstellung ist für Mischgutsorten ohne Asphaltgranulatzugabe im Bild 1 und für Mischgutsorten mit Asphaltgranulatzugabe im Bild 2 wiedergegeben.

Die Korrektheit der Absiebung, d. h. in welchem Maße die durch die Siebmaschine differenzierten Korngruppen den Sollkorngruppen nach ZTV Asphalt entsprechen, beeinflusst die Sieblinie des Mischgutes ganz entscheidend. Um einen Anhaltspunkt für die im normalen Mischanlagenbetrieb erreichbare Trennschärfe der Heißabsiebung zu bekommen, wird exemplarisch in zwei Mischanlagen eine Sonderprobennahme an den Mineralaschen vorgenommen. Hierzu werden Proben aus den Mineralaschen der Korngruppen 0,09/2 mm, 2/5 mm, 5/8 mm, 8/11 mm, 11/16 mm und 16/22 mm entnommen und im Labor der UniBwM untersucht.

3. Untersuchungsergebnisse und Folgerungen für die Praxis

Die umfassend angelegte Datenauswertung dient in erster Linie der Quantifizierung der sog. Rezepturabweichung ("Rezepturtreue"). Von den zahlreichen ermittelten Befunden sind hier nur einige exemplarisch wiedergegeben.

Eine Abhängigkeit der Rezepturabweichung von der Mischgutart/-sorte kann nicht nachgewiesen werden. Es ergeben sich aber bei den ermittelten Abweichungen deutliche Unterschiede von Mischanlage zu Mischanlage. Der systematische Fehler (Mittelwert der relativen Abweichungen zwischen Rezepturvorgabe und tatsächlicher Mischgutzusammensetzung) liegt im Durchschnitt aller untersuchten Proben für den Bindemittelgehalt bei 1,72 % (-0,79 % in der "günstigsten" Anlage, 6,66 % in der "ungünstigsten" Anlage) und für den Anteil der Gesamtmineralstoffsumme bei 0,10 % (0,02 % in der "günstigsten" Anlage, 0,77 % in der "ungünstigsten" Anlage). Für den zufälligen Fehler wird im Durchschnitt aller untersuchten Proben beim Bindemittelgehalt eine Standardabweichung von 5,86 %, bei den Mineralstoffen eine Standardabweichung von 0,34 % ermittelt. Unabhängig von diesen Fehlergrößen erfüllen die meisten in die Probenahme einbezogenen Chargen die Toleranzgrenzen der ZTV Asphalt und ZTV T; für den Bindemittelgehalt überschreiten 27 und für die Anteile an Füller, Sand- und Splittkornung 15 von 264 Proben die Grenzen.

Die in der Datenbank vorhandenen Daten stehen auch für die weiteren Untersuchungsziele wie Überprüfung des Eigenüberwachungsaufwandes, Nutzung der Chargenprotokoll Daten zur Gütesicherung usw. zur Verfügung. Um die Qualität der Mischgutproduktion zu verbessern und die Vorgaben durch die Eignungsprüfung noch besser einzuhalten, lassen sich aus den Untersuchungsergebnissen verschiedene anlagen- und steuerungstechnische Verbesserungen ableiten.

Was zunächst die materielle Anlagentechnik betrifft, so wäre beispielsweise eine Anordnungsoptimierung der Bereiche Lagerung und Beschickung der Vordoseure denkbar, und zwar der-

gestalt, dass die Beschickung mit dem Lader überhaupt entfällt. So könnte z. B. eine Befüllung der Vordoseure mit einer falschen Korngruppe, die nicht mit der Einstellung der Steuerung übereinstimmt, verhindert werden. Außerdem sollte eine Überdachung der Vorratsboxen für die Mineralstoffe Standard sein, um die Schwankungen des Wassergehalts und die windbedingten Verluste an Feinbestandteilen zu reduzieren. Es wäre wünschenswert, wenn die Steuerung nicht nur die Einwaagen gemäß der Rezeptur sicherstellen, sondern auch eine Überlastung der Siebanlage ausschließen würde, die zu Fehlabsiebungen (Verringerung des Siebgütegrades) und damit zu einer falschen Zusammensetzung des Mischgutes führen kann. Dabei wäre besonders auf die Sandfraktion zu achten, da diese bei den meisten Mischgutsorten die größte Einwaagemenge darstellt. Somit müsste v. a. der Massenstrom des Sandes von den Vordoseuren bis hin zur Verwiegung durch die Steuerung verfolgt und überprüft werden. Diesbezüglich wären Informationen über die genaue Kornzusammensetzung und die Feuchte (Wassergehalt) der Lieferkornungen, über die in der Trockentrommel stattfindende Kornzertrümmerung, über die aktuellen Füllhöhen in den Vordoseuren usw. notwendig. Außerdem sollte die Steuerung der Vordoseure von den Füllhöhen der einzelnen Mineralaschen abhängig gemacht werden.

Um eine möglichst korrekte Kornzusammensetzung der einzelnen Charge zu erzielen, könnte bei der Mineralstoffeinwaage eine Ausgleichsrechnung, ausgehend von der Korngruppe mit der größten Masse, durchgeführt werden, wobei die Einwaagevorgaben für die folgenden Korngruppen im Verhältnis der Fehlseinwaage der ersten Korngruppe verzerrt würden. Schon heute wird dieses Korrekturverfahren bei der Bitumeneinwaage und bei der Füllereinwaage in den meisten Anlagensteuerungen angewendet. Zusätzlich wäre eine Verbesserung der Mischgutzusammensetzung möglich, wenn man die sog. Freifallkomponente, die auch von der Taschenfüllhöhe abhängt, von Charge zu Charge neu berechnen und somit den Zeitpunkt zum Schließen der Klappe jeweils aktuell ermitteln würde, um die Einwaage zu präzisieren.

Insgesamt betrachtet sollte die Steuerung nicht nur einzelne Anlagenteile "betreiben", sondern den bestimmungsgemäßen Betrieb der gesamten Anlage sicherstellen. Mit der heute zur Verfügung stehenden Rechnerleistung wäre eine solche "ganzheitliche" Steuerung und laufende Überprüfung der Anlage möglich.

Bei einer vollautomatischen Steuerung könnten die Daten der Chargenprotokolle ein Bestandteil der Qualitätssicherung sein. Die Chargenprotokolldaten könnten aber auch bei herkömmlicher – nicht vollautomatischer – Steuerung unter folgenden Bedingungen als Gütenachweis dienen: Die Anlage müsste sich in einem ordnungsgemäßen Zustand befinden (z. B. Waagen und Dosiereinrichtungen regelmäßig kalibriert), die Wäge- und Beruhigungszeiten müssten ausreichend lang sein, eine Überlastung von einzelnen Anlagenteilen müsste sicher ausgeschlossen sein, ferner müssten die Über- und Unterkornanteile in den einzelnen Mineralaschen sowie die Zusammensetzung des ggf. zugegebenen Asphaltgranulats bekannt sein. Unter diesen Bedingungen könnten die Chargenprotokolle zur Berechnung der Sieblinie und des Bindemittelgehalts jeder Charge herangezogen werden und es könnten die so errechneten Größen mit den "Sollwerten" gemäß Eignungsprüfung verglichen werden. Wenn diese Vergleichsrechnung aktuell durch die Steuerungssoftware durchgeführt würde, könnte auf Abweichungen noch während der Produktion der Charge geschlossen werden.

Es war auch die Frage zu prüfen, ob der Eigenüberwachungsaufwand ggf. reduziert werden könnte. Eine chargenweise Gegenüberstellung der Vorgaben aus den Eigenüberwachungsprüfungen und der Ergebnisse der Laboranalysen hat gezeigt,

dass unter den heute üblichen Mischanlagenbedingungen die Anzahl der Eigenüberwachungsprüfungen nicht verringert werden kann. Würde allerdings die im vorhergehenden Absatz beschriebene laufende und produktionsbegleitende Überprüfung einer Charge eingeführt, so könnte die Anzahl der vorgeschriebenen Eigenüberwachungsprüfungen ohne Qualitätseinbußen reduziert werden. Der Umfang dieser Reduzierung müsste in speziell auf diese Thematik zugeschnittenen Forschungsprojekten mit einer genauen statistischen Zeitreihenanalyse noch untersucht werden.

Im Hinblick auf die Qualitätssicherung geht es vor allem darum, kritische Betriebszustände einer Asphaltmischanlage, die zur Herstellung eines nicht regelkonformen Mischgutes führen, möglichst frühzeitig zu erkennen und möglichst schnell Gegenmaßnahmen einzuleiten, um wieder in einen vorschriftsgemäßen Betriebszustand im stabilen Bereich zurückzufallen. Eine Voraussetzung dafür ist wiederum, dass zunächst für jede einzelne Anlage und ggf. auch für jede einzelne Mischgutsorte ein bestimmungsgemäßer, stationärer Betriebszustand definiert

worden ist. Hierzu müssen zunächst bei bestehenden Anlagen alle Dosiereinrichtungen kalibriert und aufeinander abgestimmt werden. Ist dieser Zustand gefunden, bei dem beispielsweise die Füllhöhen der Mineraltaschen konstant bleiben, eine Überlastung der Siebanlage ausgeschlossen ist sowie die Verwiege- und Beruhigungszeiten optimiert sind, dann müssen die so ermittelten Größen als Grundeinstellung fixiert werden und in der laufenden Produktion von der Betriebssoftware zwangsweise zur Steuerung der Anlage eingesetzt werden (Prinzip der "lernfähigen" Selbstoptimierung). Durch Vergleich mit diesen Grundeinstellungen können die Anlagenparameter während des Betriebes überwacht und erforderlichenfalls angepasst werden. Voraussetzung wäre also, dass auch in diesem Fall in regelmäßigen Abständen die Dosiereinrichtungen kalibriert und die Kornzusammensetzungen der Tascheninhalte ermittelt werden. Überschreitet z. B. die Kornzusammensetzung (Sieblinie) den Toleranzbereich der optimierten Anlage, so könnten frühzeitig Gegenmaßnahmen – ggf. automatisch – eingeleitet werden mit dem Ziel, dass ein kritischer Betriebszustand (Toleranzüberschreitung) gar nicht erst eintritt.

Tabelle 1: Probenplan und Anzahl der Proben

Mischgutbezeichnung in der Untersuchung	AB 0/8 mit Asphaltgranulat	AB 0/8 ohne Asphaltgranulat	SMA 0/8 S ¹	SMA 0/11 S ¹	ABi 0/22 S	ATS 0/32 CS ohne Siebumgehung	ATS 0/32 CS mit Siebumgehung	Summe
Sorte	AB 0/8	AB 0/8	SMA 0/8 S	SMA 0/11 S	ABi 0/22 S	ATS 0/32 CS	ATS 0/32 CS	
Asphaltgranulatzugabe	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	
Siebumgehung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	
Anlage 1	11	11	0	11	0	11	11	55
Anlage 2	11	0	0	11	0	11	11	44
Anlage 3	11	11	11	0	11	11	11	66
Anlage 4	11	11	11	0	11	11	0	55
Anlage 5	11	11	0	11	0	11	0	44
Summe	55	44	22	33	22	55	33	264

AB Asphaltbeton
ABi Asphaltbinder

SMA Splittmastixasphalt
ATS Asphalttragschicht

¹ Da nicht in allen Mischwerken SMA 0/11S hergestellt wurde, musste zusätzlich SMA 0/8 S mit in den Probenplan aufgenommen werden. Diese Möglichkeit wurde mit der Betreuergruppe abgesprochen.

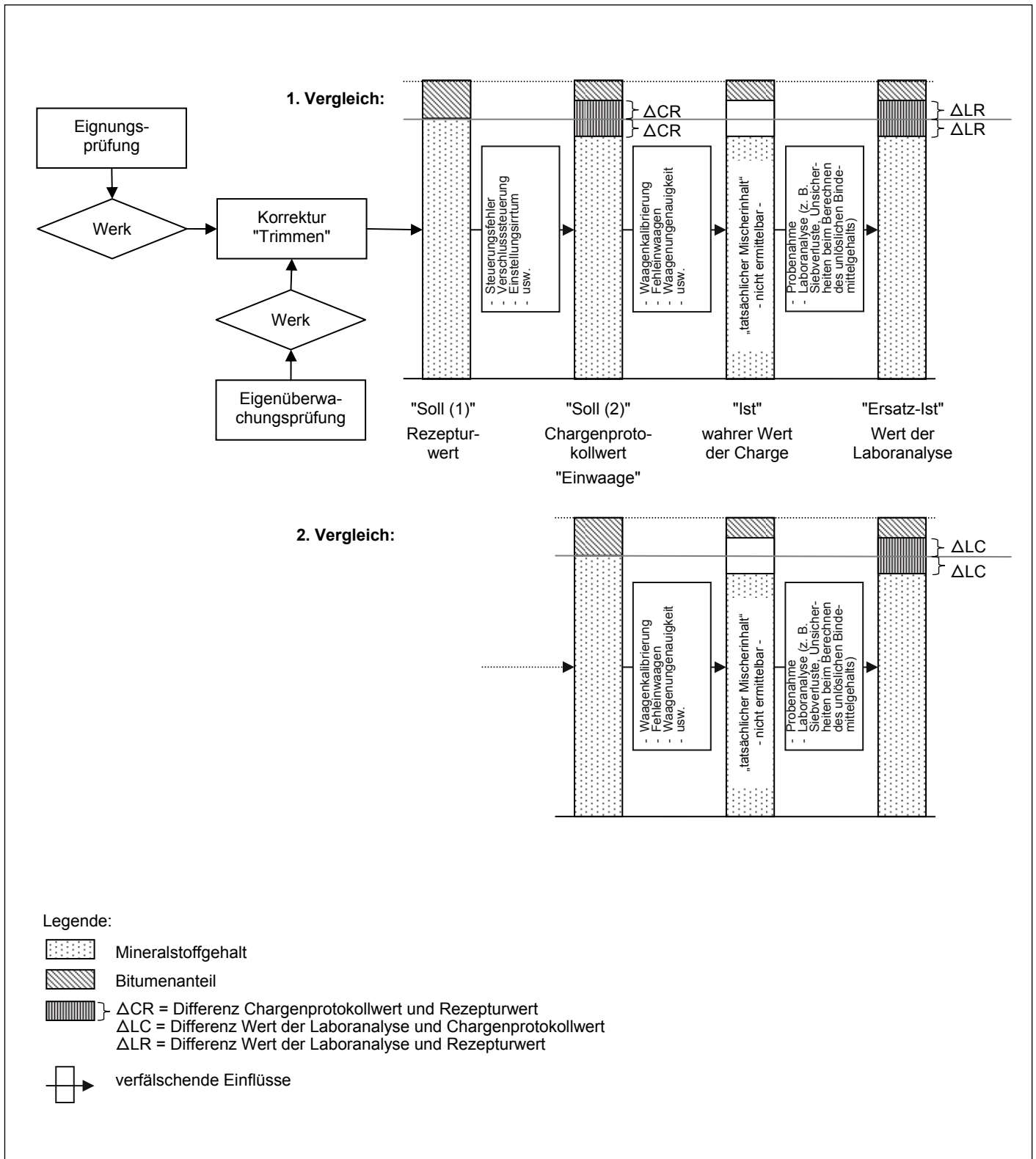


Bild 1: Vergleichsschema Soll/Ist ohne Asphaltgranulatzugabe (schematisch)

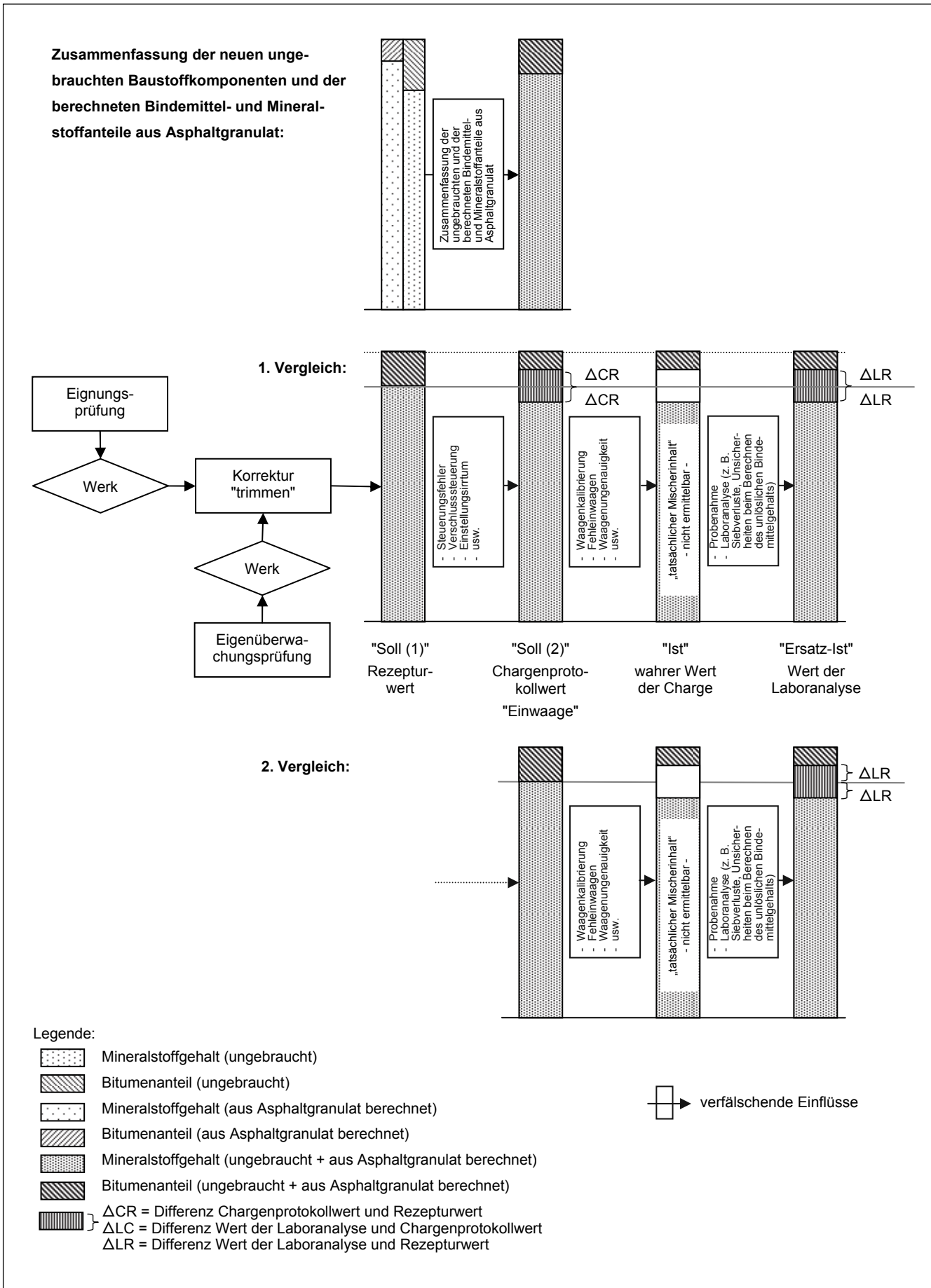


Bild 2: Vergleichsschema Soll/Ist mit Asphaltgranulatzugabe (schematisch)