

**Die Zusammenfassungen sind teilweise stark veraltet (Vorlesungsinhalte aus vergangenen Semestern, alte Normen...) und sollten lediglich als Hilfestellung zum Verfassen eigener Zusammenfassungen dienen.**

# 1 Systematik der Straßenerhaltung

## 1.1 Veranlassung und Ziel

- Straßen sind einer Fülle von Belastungen aus Verkehr und Umwelt ausgesetzt
- Lkw-Achse mit 10t belastet Straße etwa so stark wie 160.000 Pkw-Achsen. Zulässige Gesamtgewichte und Achslasten der Lkw wurden in Vergangenheit immer wieder Erhöht, Supersinglereifen anstatt Zwillingsbereifung, Verkehrsaufkommen stark gestiegen, elektronische Deichsel (mehrere Lkw elektronisch gekoppelt, exakt in einer Spur statt leicht versetzt)
- Umwelteinflüsse: UV-Strahlung, Frost-Tauwechsel, Schnee und Salz, Regen, Klimawandel (mehr Extremwetterereignisse, z.B. Hitzeperioden oder Starkregen)
- Material in den einzelnen Schichten altert und ermüdet, Schäden in unterschiedlicher Ausprägung
- Systematische Erhaltung von Straßen, damit ihr Wert erhalten bleibt und Verkehr sicher und mit hoher Qualität abgewickelt werden kann
- Straßen stellen Volkswirtschaftliches Vermögen dar: ca. 500 Mrd.€, Bundesstraßen etwa 170 Mrd.€
- Gut ausgebautes Straßennetz in Deutschland: Neubau geht zurück, Erhaltung/Ausbau gewinnt zunehmend an Bedeutung
- Lebensdauer: Asphaltdeckschicht 10-15a, Bindschichten 15-20a, Betondecken bis 30a, Tragschicht 40-50a, Erdbauwerke/Unterbau 50-100a
- Erhaltungsaufwand (wenn gut gemacht): 1-2 €/m<sup>2</sup> Straße, 1% des Bestandwertes für Ingenieurbauwerke

## 1.2 Pavement-Management-System

- knappe Haushaltsmittel müssen effizient eingesetzt werden: Richtige Maßnahme zur richtigen Zeit am richtigen Ort, möglichst kostengünstig
- unterschiedliche Erhaltungsstrategien (wenige, aufwändige Maßnahmen sobald Straße einen kritischen Zustand erreicht: Straße selten gesperrt, aber relativ lange in schlechtem Zustand) oder häufige kleinere Maßnahmen (Straße stets in gutem Zustand, aber öfter gesperrt)
- Für einen einzelnen Streckenabschnitt einfach, für ein komplexes Netz reicht Intuition und Erfahrung nicht mehr aus → PMS-Software zur systematischen Erhaltungsplanung
- häufig fehlen die erforderlichen Sachdaten, zudem muss in bestimmten Zeitabständen der aktuelle Straßenzustand erhoben werden
- erforderliche Sachdaten: Querschnitts-, Aufbau-, Erhaltungs-, Zustands- und Verkehrsdaten
- erstellen von Zustandsprognosen, definieren von Erhaltungsmaßnahmen (Art, Zeitpunkt) und abschätzen der erforderlichen Unterhaltungskosten mittels Algorithmen/Verhaltensfunktionen
- Möglichkeiten eines PMS: Abschätzung des Erhaltungsbedarfs bei Vorgabe eines angestrebten Zustands im Netz, Entwicklung eines Unterhaltungsprogramms bei optimiertem Finanzmitteleinsatz, Steuerung der Zustandsentwicklung im Netz in Abhängigkeit der eingesetzten Finanzmittel
- Ziel für Zukunft: Managementsystem, das auch Ingenieurbauwerke und sonstige Anlagenteile berücksichtigt oder noch besser: Infrastrukturmanagementsystem (berücksichtigt auch Leitungen für Strom, Wasser, Gas, Telefon/Daten)

## 2 Oberflächen- und Struktureigenschaften

- für Nutzer stehen Gebrauchseigenschaften (eben, griffig) im Vordergrund, für Baulastträger sind auch Substanzeigenschaften (standfest, ermüdungsresistent) von hoher Bedeutung
- Gebrauchseigenschaften haben Einfluss auf Verkehrssicherheit, Fahrkomfort, Schonung von Umwelt/Fahrzeug/Straße
- Substanzeigenschaften beeinflussen Strukturqualität einer Straße, daraus lässt sich der Substanzwert ableiten
- erfüllt die Konstruktion die Anforderungen der Strukturqualität nicht mehr, treten Schäden auf

## 2.1 Oberflächeneigenschaften

### 2.1.1 Grundsätzliches zur Ebenheit

- Ebenheit ist definiert als Ebenheitsgrad, den Abweichungen einer gegebenen Fahrbahnoberfläche relativ zur zugehörigen Sollfläche erzeugen
- Ebenheit eines Straßenabschnitts verschlechtert sich mit zunehmender Nutzungsdauer
- Abweichungen von der Ebenheit erzeugen bei der Überfahrt dynamische Belastungen
- Maßgebend für die Bewertung sind die Auswirkungen auf Fahrzeug, Insassen und Fahrsicherheit
- Drei Typen: Verschleißbedingte (Kontakt Reifen-Fahrbahn, spielen untergeordnete Rolle), unvermeidbare (fertigungstechnische bedingte Abweichungen oder Übergangsstellen) und verformungsbedingte Unebenheiten (machen den größten Teil der Straßenschäden aus)

### 2.1.2 Längsebenheit

- ZTV: Anforderung an Anfangsebenheit der Schichten einer Fahrbahnkonstruktion. Unebenheitswerte entsprechen der maximalen Abweichung unter einer 4m-Latte
- Kohler-Planograph: Messwagen mit Schreibeinrichtung, Anzeigevorrichtung und Meterzähler. Laufräder mit unterschiedlichen Achsabständen. Messrad ist beweglich gelagert und vollzieht bei Überfahrt von Unebenheiten Auf- und Abwärtsbewegungen, die aufgezeichnet werden
- Untersuchungen zeigten, dass wesentliche schwingungstechnische Eigenschaften bei einem Fahrzeug im Frequenzbereich von 0,5 bis 30 Hz liegen. Erregerfrequenz ist von der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Maßgebender Wellenlängenbereich 0,3-100m kann von Messlatte/Planograph nur teilweise erfasst werden
- mit schnellfahrenden Messgeräten mit Lasertechnik können Unebenheiten erfasst und über Simulationen Wellenlängen bis 100m ausgewertet werden
- Längsebenheitsmessungen nach Prinzip der Mehrfachabtastung: Vier starr montierte Sensoren (unterschiedliche Abstände) überstreichen unter Fortbewegung einen festen Punkt der Fahrbahnoberfläche mehrfach, daraus lässt sich ein Längsprofil errechnen
- Maß für Beschreibung der Längsebenheit: spektrale Dichte (Amplitudenquadrat/Frequenzauflösung)

### 2.1.3 Querebenheit

- Unebenheiten im Querprofil können bei Überholvorgängen Bewegungen des Fahrzeugs um die Längsachse erzeugen und den Abfluss des Oberflächenwassers verhindern (Aquaplaning). Deshalb ist nicht nur Spurrinntentiefe, sondern auch eine rechnerische fiktive Wassertiefe von Bedeutung
- Überprüfung der Querebenheit Analog zur Längsebenheit (4m-Latte), Bestimmung der maximalen Profiltiefe
- Für Spurrinnen und fiktive Wassertiefe: 2m-Latte unter Berücksichtigung der Querneigung
- schnellfahrende Messgeräte mit Lasertechnik: Messbalken frontseitig an Fahrzeug montiert, Sensoren in regelmäßigen Abständen

### 2.1.4 Griffigkeit

- Fahrbahn als Widerlager zur Aufnahme der vom Fahrzeug ausgehenden Kräfte
- Übertragung der Kräfte hängt vom Reibungswiderstand zwischen Reifen und Fahrbahn ab: Trockene Fahrbahn (hoch), vereiste Fahrbahn (niedrig), nasse Fahrbahn (nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit ab, da sich unter dem Reifen ein Wasserfilm aufbaut)
- Griffigkeit (abgeleitete Hilfsgröße) gibt Wirkung der Rauheit auf den Reibungswiderstand im Zusammenhang mit einem Reifen an
- Griffigkeit hängt von der Rauheit der Fahrbahnoberfläche ab, Einteilung in Mikro- und Makrorauheit. Abgrenzung im Wellenlängenbereich 0,5mm
- Makrorauheit ergibt sich durch Anordnung der Gesteinskörner an der Oberfläche, kommt bei hohen Geschwindigkeiten zum Einsatz, in dem sie das Reifenprofil beim Abführen der Hauptwassermenge aus der Kontaktfläche unterstützt
- Mikrorauheit resultiert aus Kanten- und Flächenschärfe der GK. Ermöglicht dem Reifen, den letzten dünnen Wasserfilm abzuführen → fast trockene Oberfläche, die die vom Fahrzeug ausgehenden Kräfte aufnehmen kann
- Maß für die Griffigkeit ist der Gleitreibungsbeiwert (bezogen auf nasse Fahrbahn).
- scharfes Korn, große Rauheit: unproblematisch. scharfes Korn, geringe Rauheit: nur bei geringen Geschwindigkeiten (dünner Wasserfilm). poliertes Korn, geringe/hohe Rauheit: nie verbauen! (keine Griffigkeit)
- SRT-Pendel (stationärer Versuch): Messung der Rauheit mittels einer Gummikante, die mit konstanter Bewegungsenergie auf die Straßenoberfläche trifft und mittel einer Gleitfläche gebremst wird. Der gemessene Energieverlust ist ein Maß für die Griffigkeit.
- SRM (ungenau!): Von einem LKW gezogenes, blockiertes Schlepprad. Messung mit Standardreifen auf mit konstantem Wasserfilm benetzter Fahrbahn. Aus Bremsmoment und Radlast lässt sich Gleitreibungsbeiwert ermitteln. Messung bei verschiedenen Geschwindigkeiten.
- SKM (ungenau! Standardmethode in Deutschland): zwangsführtes, schräg laufendes Rad entspricht einem definierten Schlupf. Messgerät hat außerdem Kraftaufnehmer und Einrichtung zur Benässung der Fahrbahn

## 2.2 Struktureigenschaften

### 2.2.1 Standfestigkeit

- Standfestigkeit ist der Widerstand gegen bleibende (plastische) Verformungen
- spielt nur bei Asphaltbauweisen eine Rolle, da sich starre Betonfahrbahnen nicht plastisch verformen
- Standfestigkeit im wesentlichen abhängig von innerer Reibung der GK ergänzt durch die Korn-zu-Korn-Abstützung des durch Verdichtung fest verspannten Splittgerüsts
- günstig für hohe innere Reibung sind hohe Anteile an Splitt und Brechsand sowie hohe Lagerungsdichte (hoher Verdichtungsaufwand)
- Standfestigkeit im Labor durch Druckschwellen- oder Spurbildungsversuch abschätzbar
- Standfeste Asphalte müssen auch im Sommer ausreichend Verformungsbeständig bleiben: ausreichender Hohlraumgehalt, um Wärmedehnung des Bitumens aufzufangen.
- Bei zu hohem Bindemittelgehalt oder zu geringem Hohlraumgehalt wird der Mörtel zu einer geschlossenen Phase, in der die GK schwimmt und den unmittelbaren Kontakt verliert → innere Reibung sinkt stark, Standfestigkeit geht verloren

### 2.2.2 Ermüdungsbeständigkeit

- Ermüdungsbeständigkeit ist die Fähigkeit viele Lastübergänge auszuhalten, bevor es zu einer Versprödung und Rissbildung kommt
- Fahrbahnbefestigung erleidet bei jedem Lastübergang eine Durchbiegung, bei der die Bitumenfilme an Unter- und Oberseite der Asphaltsschichten gedehnt werden
- Anzahl der Verkräftbaren Dehnungen ist umso größer, je geringer die Dehnungen sind: dicke Asphaltbefestigung mit gutem Schichtenverbund auf standfester Unterlage
- Hoher Bindemittelgehalt wirkt sich positiv auf Ermüdungsbeständigkeit aus
- Bitumensorte: Weiches Bitumen für schwach dimensionierte Konstruktionen mit starken Durchbiegungen; hartes Bitumen für dicke Konstruktionen mit geringer Durchbiegung.
- Alterung des Bitumens durch UV-Strahlung berücksichtigen
- Standfestigkeit und Ermüdungsbeständigkeit sind gegenläufige Eigenschaften! Welches Maß an Standfestigkeit zweckmäßig ist, hängt von der Konstruktion ab:
  - Standfest konzipierte Fahrbahnen erleiden kaum bleibende Verformungen, neigen aber bei häufigen Durchbiegungen zu Rissbildung infolge Ermüdung. Sie müssen deshalb so angelegt werden, dass sie sich unter Belastung nur wenig durchbiegen: große Gesamtdicke, Schichtenverbund mit Tragschichten von gleichmäßig hoher Standfestigkeit
  - bei wenig standfester Unterlage oder der Gefahr von Frosthebungen (ländliche Wege, alte Straßen) ist es besser, die Decken nicht auf hohe Standfestigkeit auszulegen, sondern ihnen eine gute Verformbarkeit (Flexibilität) zu lassen, um einer Rissbildung vorzubeugen
- Ermüdungsbeständigkeit spielt auch bei Betonstraßen eine Rolle: Beschränkung der Rissbildung nach ZTV

### 2.2.3 Tragfähigkeit

- Tragfähigkeit ist der Widerstand gegen kurzzeitige (elastische) Verformungen: Aufnahme der einwirkenden Belastung, Verteilung über die Schichten und schadlose Ableitung in den Untergrund
- der elastische Verformungsanteil kann vorab nur über theoretische Berechnungen abgeschätzt oder in situ gemessen werden
- Tragfähigkeit ist über Liegedauer nicht konstant sondern unterliegt Einflüssen, die sich über die Jahreszeit verändern (Temperatur, Wassergehalt der ungebundenen Schichten) → müssen bei Messungen berücksichtigt werden
- Zustandsindikator für Tragfähigkeit ist i.d.R. die Einsenkung im Lastzentrum
- Messung mit quasistatischen (Benkelmann-Balken) und dynamischen Verfahren (Falling Weight Deflectometer)
- Benkelmann-Balken: Verlauf der vertikalen Verformungen eines Punktes der Straßenoberfläche bei Be- und Entlastung. Messung der rückfedernden Einsenkung des Punktes. Bestimmung von Biegelinien (Einflusslinien)
- Falling-Weight-Deflector: Variation von Größe und Dauer der Belastung über Fallhöhe und Gewicht und Härte des Gummipuffers. Geophone messen Einsenkung der Konstruktion an verschiedenen Punkten, woraus sich eine Verformungskurve (Deflexionsmulde) ergibt
- Anforderungen bestehen in Deutschland nicht, aber es existieren Erfahrungswerte, anhand derer im Einzelfall die Tragfähigkeit einer Fahrbahnkonstruktion beurteilt werden kann