



Entwicklung und praktische Umsetzung von Polyurethan-Asphalt

Dipl.-Ing. Lukas Renken

Ingenieurgesellschaft für Straßenwesen Aachen
ISAC GmbH

Klimawandel

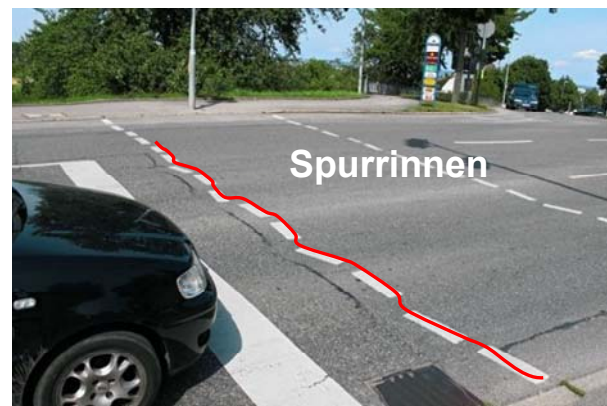
Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre durch

- Industrialisierung und
- Zunahme von Infrastrukturflächen

➔ { Erhöhung der globalen Temperaturen
Anstieg der Regenereignisse



- Infrastruktur und ihre Nutzer sind den Auswirkungen unmittelbar ausgesetzt
- Folge: Störung der strukturellen Substanz
- Adaption der Infrastruktur an den Klimawandel notwendig



Entwicklung nachhaltiger, dauerhafter und wirtschaftlich effizienter Baustoffe notwendig

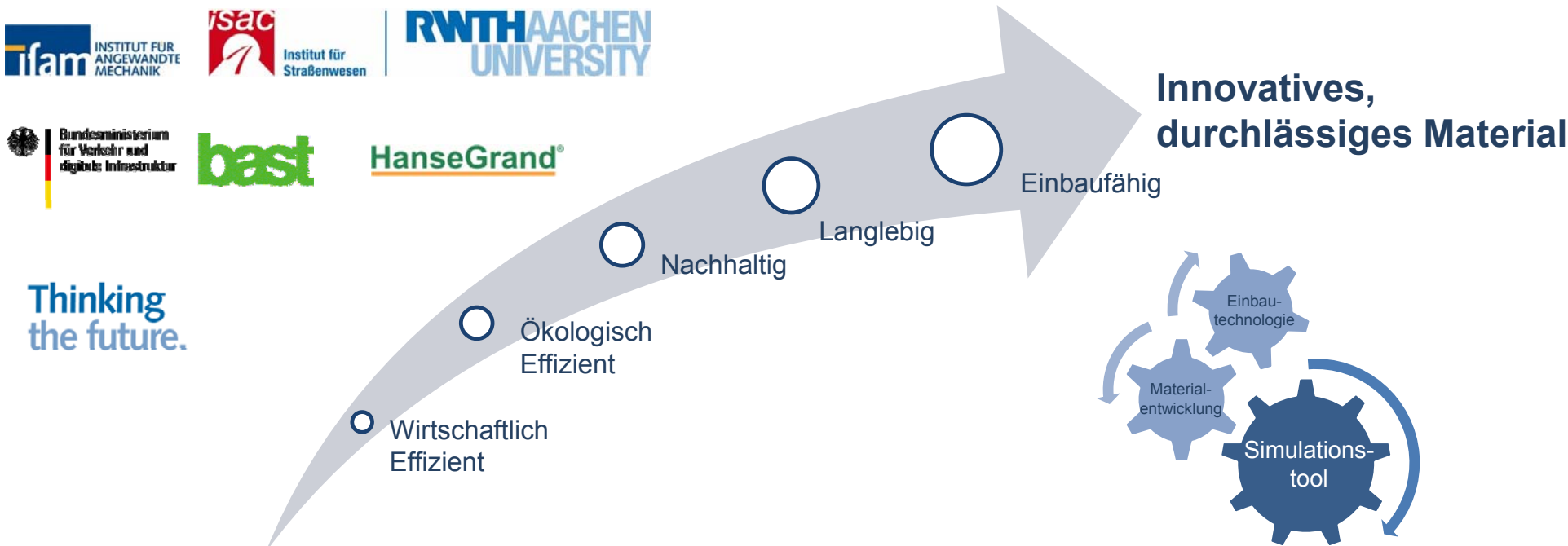
- Versickerungsfähige Flächen stellen den entscheidenden Lösungsansatz dar
 - Flächenentsiegelung
 - Naturnahe Rückführung von Niederschlagswasser
 - Förderung der Evaporation
 - Verbesserung des Stadtklimas
- Für kommunale Bereiche sind konventionelle Materialien nicht oder nur eingeschränkt geeignet
 - Geringe Dauerhaftigkeit
 - Geringe Schub- und Scherfestigkeit
 - Geringe Lebensdauer





Ist es möglich bitumengebundenen Asphalt durch Polyurethan-Asphalt zu ersetzen und somit zu einer Verbesserung der Infrastruktur beizutragen?

- Entwicklung des innovativen durchlässigen Materials erfolgte im Rahmen eines FE-Projektes (INNO-BOND)
 - Finanziert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

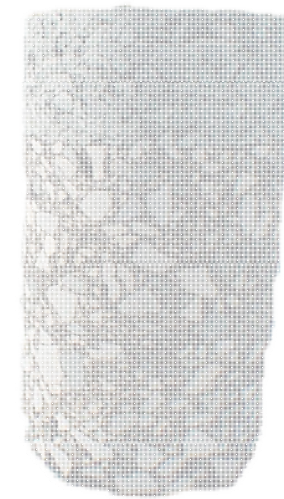
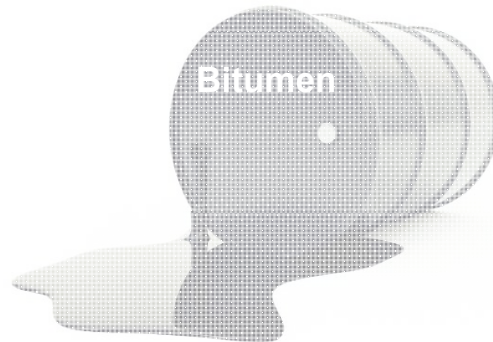


Die Grundsätzliche Idee Verwendete Baustoffe

Mobilität der Zukunft gestalten!
Ingenieurgesellschaft für Straßenwesen Aachen



ISAC
G M B H



Gesteine

+

Bitumen

=

Asphalt

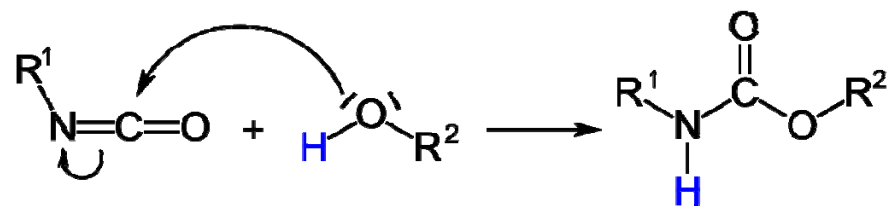


Gesteine + **Polyurethan (PU)** = **„PU-Asphalt“**
Anforderungen gemäß TL Elastopave®6551/102
Gestein-StB

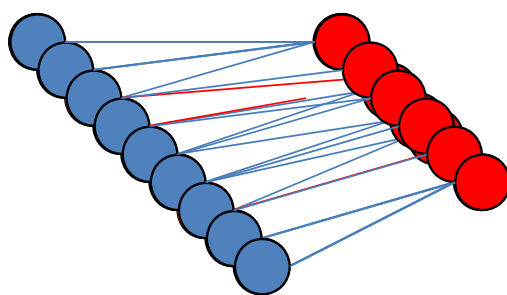
*Der Einfachheit wegen wird das Material als Asphalt definiert,
obwohl gemäß klassischer Definition kein Bitumen als Bindemittel eingesetzt wird!*

- Vollständige Substitution von Bitumen durch Polyurethan
- Zweikomponenten-System
 - Reaktion von Polyol mit Isocyanat
- Systembaustoff
 - Materialtechnische Eigenschaften können anwendungsspezifisch angepasst werden
- Umweltverträglich
 - Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen

Polyaddition von Isocyanat mit Polyol

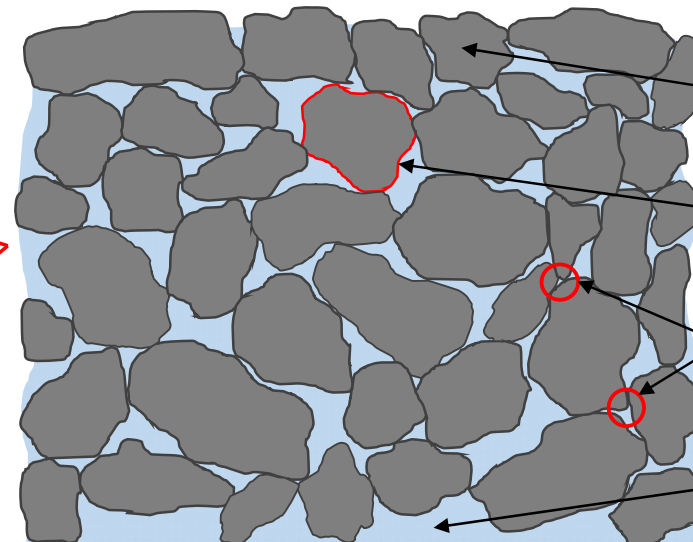


Polyol : Isocyanat
100 : <64



- Materialfestigkeit aufgrund der mechanischen Verbindung an den Kontaktstellen
 - Geringer Bindemittelanteil ($B \approx 5 - 6 \text{ M.-%}$)
 - Hoher Hohlraumgehalt ($V \approx 32 \text{ Vol.-%}$)
 - Hohe Materialfestigkeit

Offenporiger PU-Asphalt



Gesteinskorn

PU-Bindemittel

Verklebte
Kontaktstelle

Versickerndes Wasser

Hydraulische Eigenschaften

- Wasserdurchlässigkeit
- Bindemittelerosion
- Verschmutzung
- Wasserempfindlichkeit

Thermische Eigenschaften

- Wärmekapazität
- Wärmeleitfähigkeit
- Wärmedehnung

Performance (mechanisch)

- Verformungsverhalten
- Kälteverhalten
- Ermüdungsverhalten

Weitere Eigenschaften

- Widerstand gegen Frost, Wärme und Treibstoff
- Innere Materialstruktur
- Schichtenverbund

Oberflächeneigenschaften

- Griffigkeit
- Makrotextur
- Widerstand gegen Kornausbruch

Bindemitteloptimierung

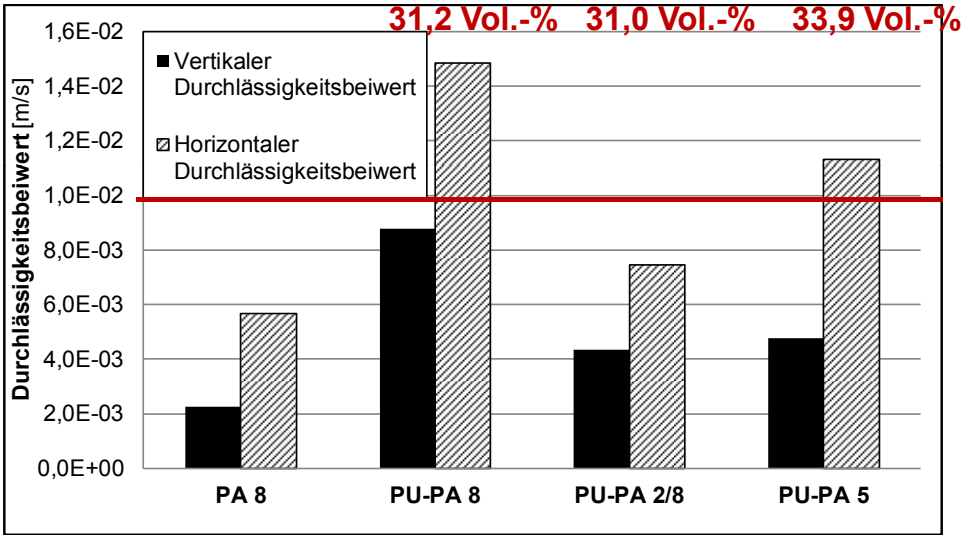
- Optimale Materialsynthese
- Verarbeitbarkeit



- Vollständig neue Materialkonzepte wurden entwickelt
- PU-Asphalt zeigt eine bessere Performance als konventioneller Asphalt
 - Hohe Offenporigkeit bei gleichzeitig hohem Verformungswiderstand
 - Hohe Temperaturstabilität und Festigkeit bei gleichzeitig geringer Rissanfälligkeit
 - Hohe Ermüdungsbeständigkeit
- Sehr gute Versickerungs- und Drainageleistung
- Hohe mechanische Oberflächenresistenz (Kornausbruch)



Verknüpfung hoher Materialfestigkeiten mit einem hohen Hohlraumgehalt und einer guten hydraulischen Performance möglich!



Durchlässigkeitsbereiche gemäß (DIN 18130-1)

k [m/s]	Bereich
unter 10^{-8}	sehr schwach durchlässig
10^{-8} bis 10^{-6}	schwach durchlässig
über 10^{-6} bis 10^{-4}	durchlässig
über 10^{-4} bis 10^{-2}	stark durchlässig
über 10^{-2}	sehr stark durchlässig

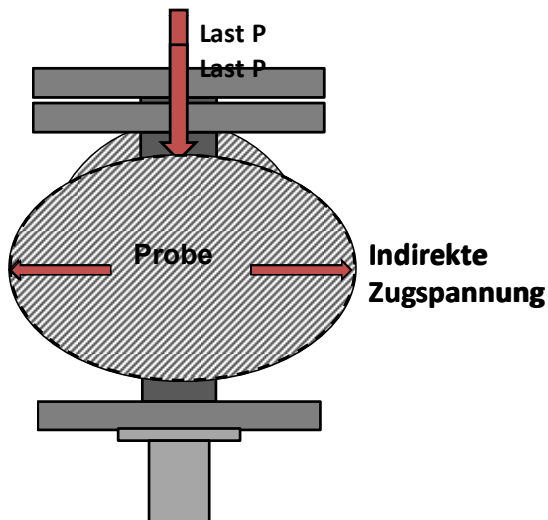
Versuchsparameter:

- Durchführung gemäß TP-Asphalt, Teil 19
- Wasserdurchfluss Q wird gemessen
- Durchlässigkeitsbeiwert k_f kann aus Durchfluss Q berechnet werden

Erkenntnisse:

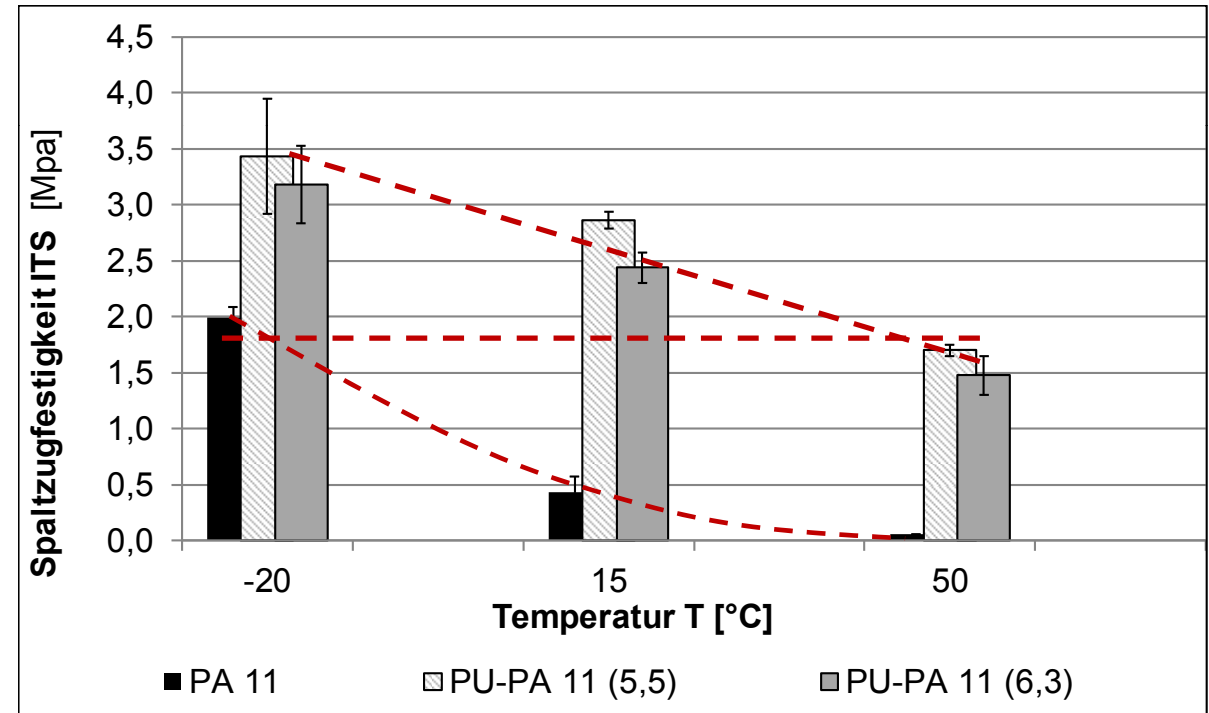
- Hohe Wasserdurchlässigkeit
- Anforderungen als „Versickerungsfähige Verkehrsfläche“ erfüllt

Spaltzugfestigkeit über den indirekten Zugversuch (ITS)



Versuchsparameter:

- Durchführung gemäß TP-Asphalt, Teil 23
- Belastungsgeschwindigkeit: 50 mm/min
- Temperaturbereich: -20°C ; $+15^{\circ}\text{C}$; $+50^{\circ}\text{C}$



test results ITS

Mobilität der Zukunft gestalten!
Ingenieurgesellschaft für Straßenwesen Aachen



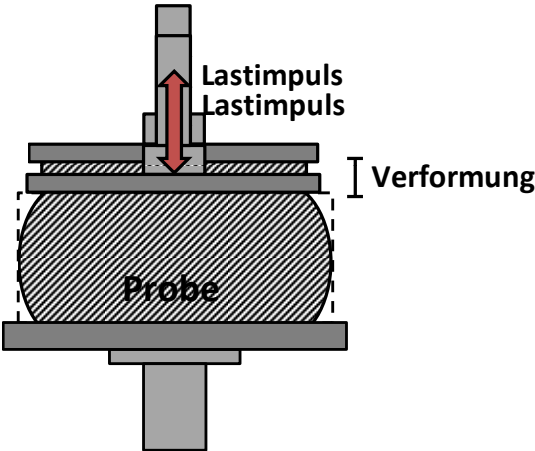
ISAC
G M B H



Überwiegend
gebrochene Gesteine

Verformungsverhalten

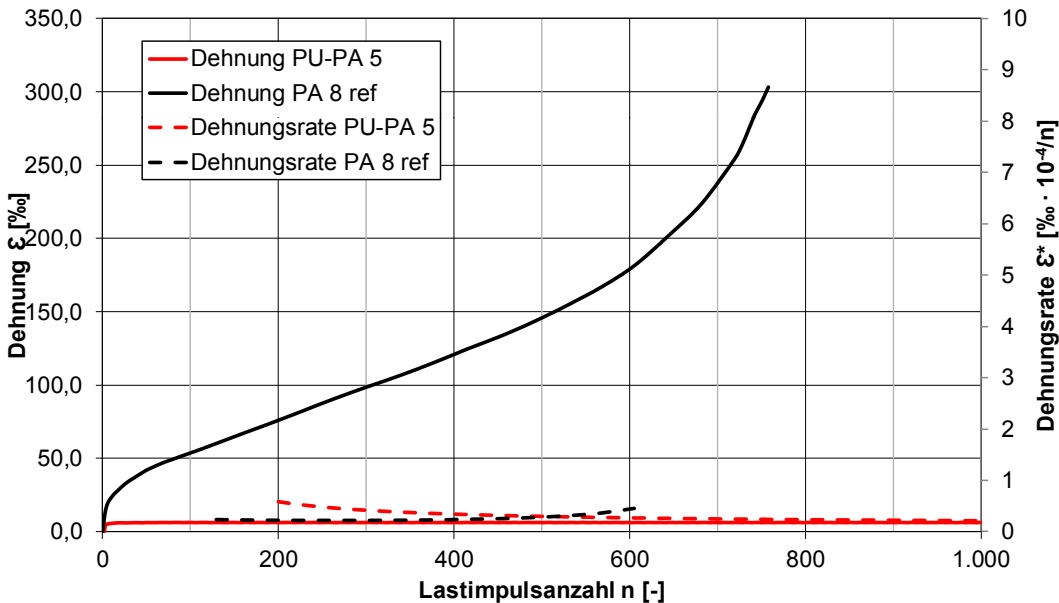
Einaxialer Druck-Schwellversuch (DSV)



Versuchsparameter:

- Durchführung gemäß:
TP Asphalt-StB, Teil 25 B1
- Belastung: Dynamisch, Lastpause
- Temperatur: +50°C
- Ermittlung bleibenden Dehnung

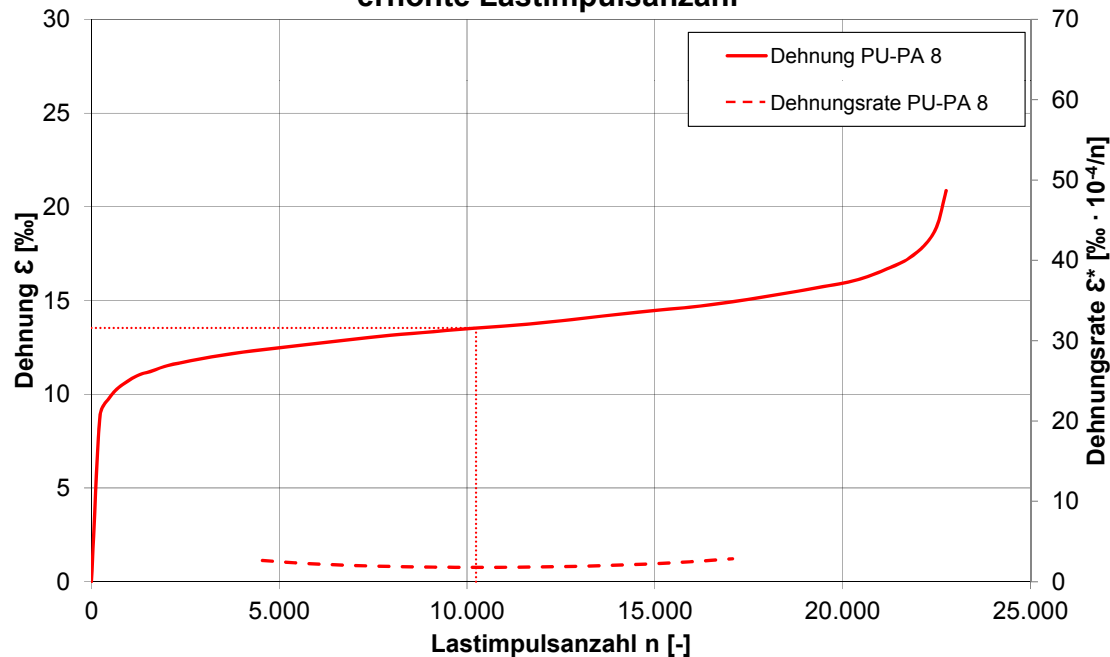
Impulskriechkurve



Erkenntnisse:

- Unter Standardprüfbedingungen keine Materialreaktion
- PU-Asphalt ist als Verformungsstabil einzustufen
- Anpassung der Prüfmodalitäten erforderlich

Impulskriechkurven PU-Asphalt - $0,33 f_c$
erhöhte Lastimpulsanzahl



Erkenntnisse:

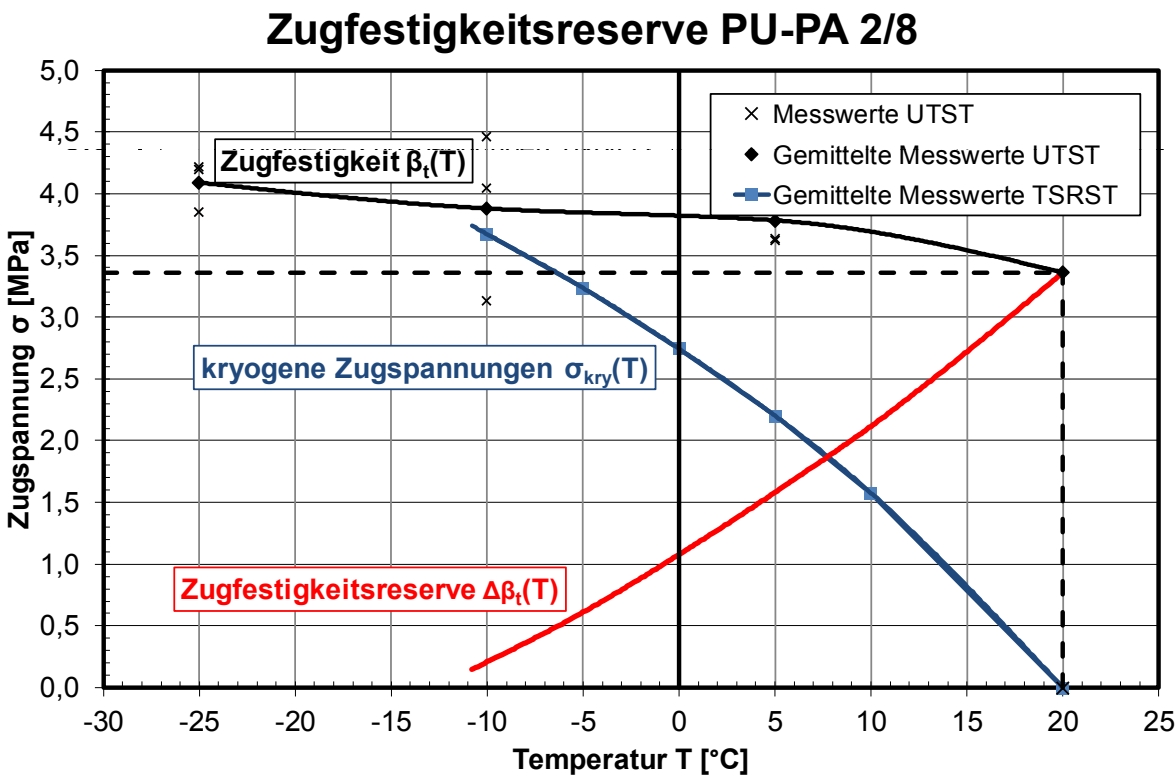
- Verformungsverhalten zeigt einen asphaltypischen Verformungsverlauf
- PU-Asphalt ist Verformungsstabil
- Modifikation der Prüfparameter ist zielführend

Kälteverhalten

- Zugfestigkeit
 - Einaxialer Zugversuch (UTST)
- Kryogene Zugspannung
 - Abkühlversuch (TSRST)
- Zugfestigkeitsreserve
 - Überlagerung UTST / TSRST

Erkenntnisse:

- Hohe kryogene Spannungen
- Gefahr der Rissbildung bei tiefen Temperaturen



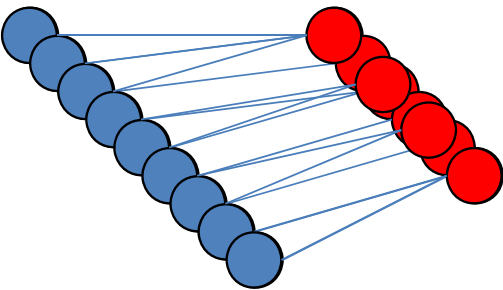
Materialoptimierung notwendig!

Bindemittlelastifizierung

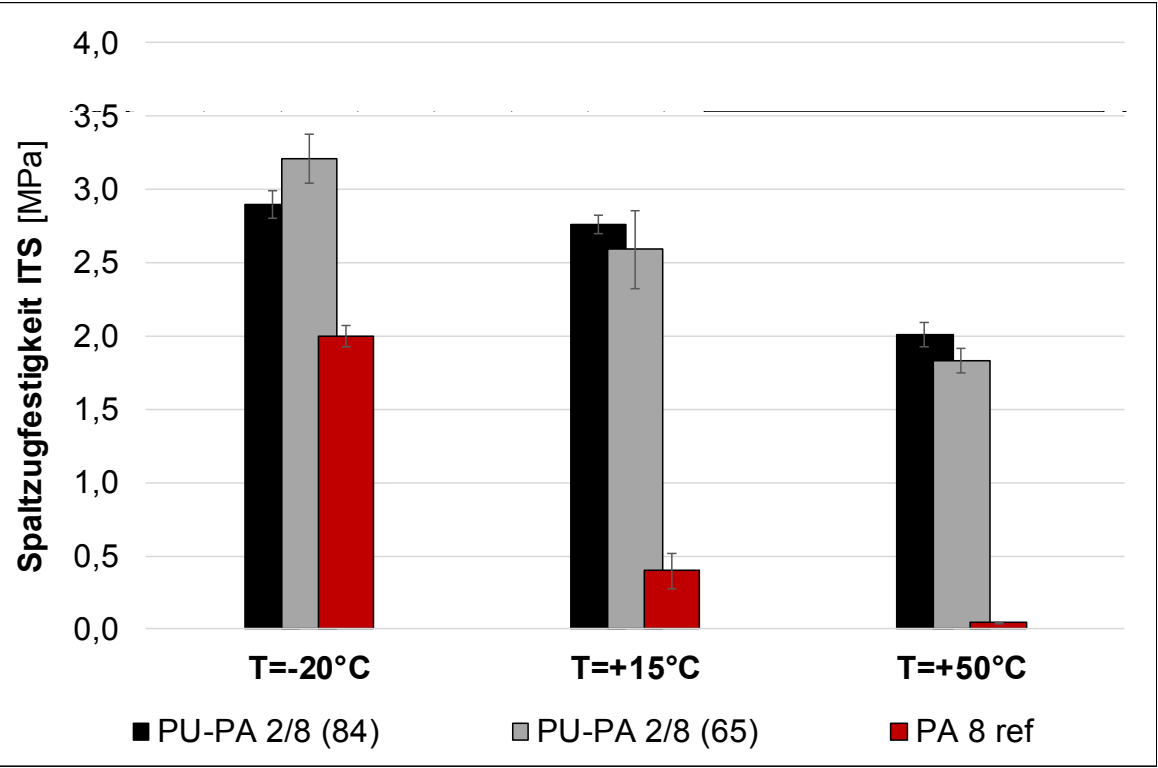
- Veränderung der Elastizität ohne Materialfestigkeit zu beeinflussen
- Verhältnis der Komponenten beeinflusst die Materialeigenschaften
 - Reduktion der Isocyanat-Komponenten
 - Verbesserung der elastischen Eigenschaften



Polyol : Isocyanat
100 : 65



➔ Ein Verhältnis von Polyol : Isocyanat von 100 : 65 hat sich als Zielführend erwiesen

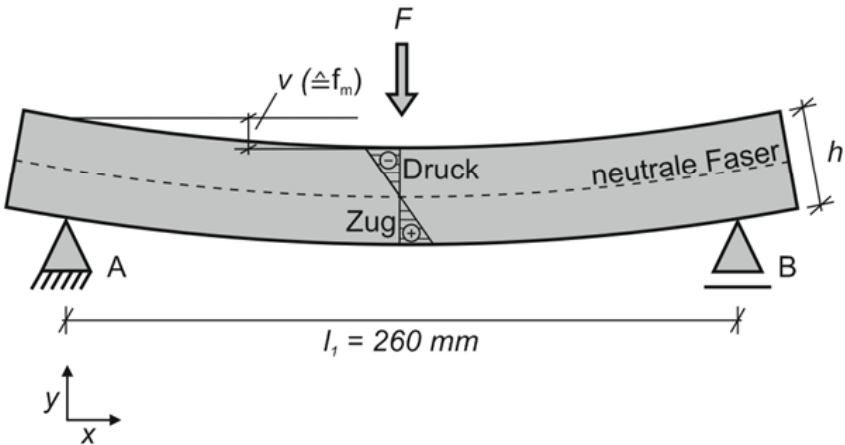


Erkenntnisse:

- Elastifizierung hat den erwünschten Erfolg erzielt
- Charakteristischer Verlauf
- Materialversagen bei sehr tiefen Temperaturen und hohen Zugspannung
- Keine Veränderung der Materialfestigkeit

Ermüdungsverhalten

Dynamischer Dreipunkt-Biegeversuch (3PB)



Erkenntnisse:

- Keine Materialreaktion unter Standardprüfbedingungen
- PU-Asphalt ist als Ermüdungsbeständig einzustufen
- Anpassung der Prüfmodalitäten erforderlich

Bestimmung der maximalen Biegezugfestigkeit und dazugehöriger Verformung

Modifizierte Prüfparameter:

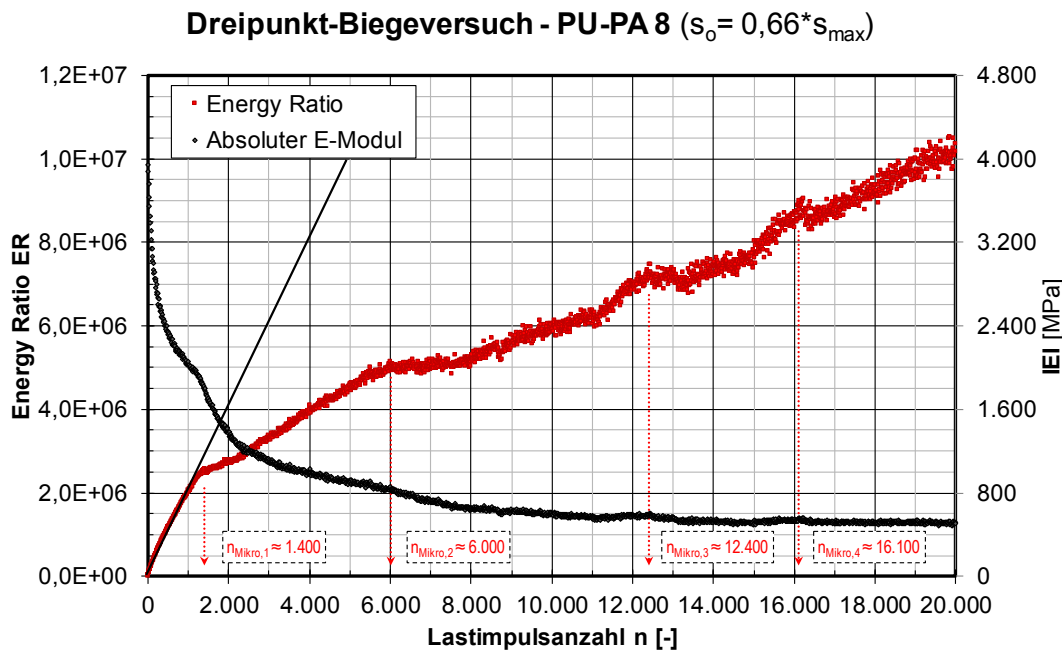
→ $\sigma_{o,standard} = 0,35 \text{ mm}$
 $\sigma_{o,neu} = 66\% * s_{max} = 0,751 \text{ mm}$

Versuchsparameter:

- Durchführung gemäß DIN EN 12697-24
- Belastung: Dynamisch, weggeregelt
- Temperatur: +20°C
- Ermittlung Biegezug E-Modul

Ermüdungsverhalten

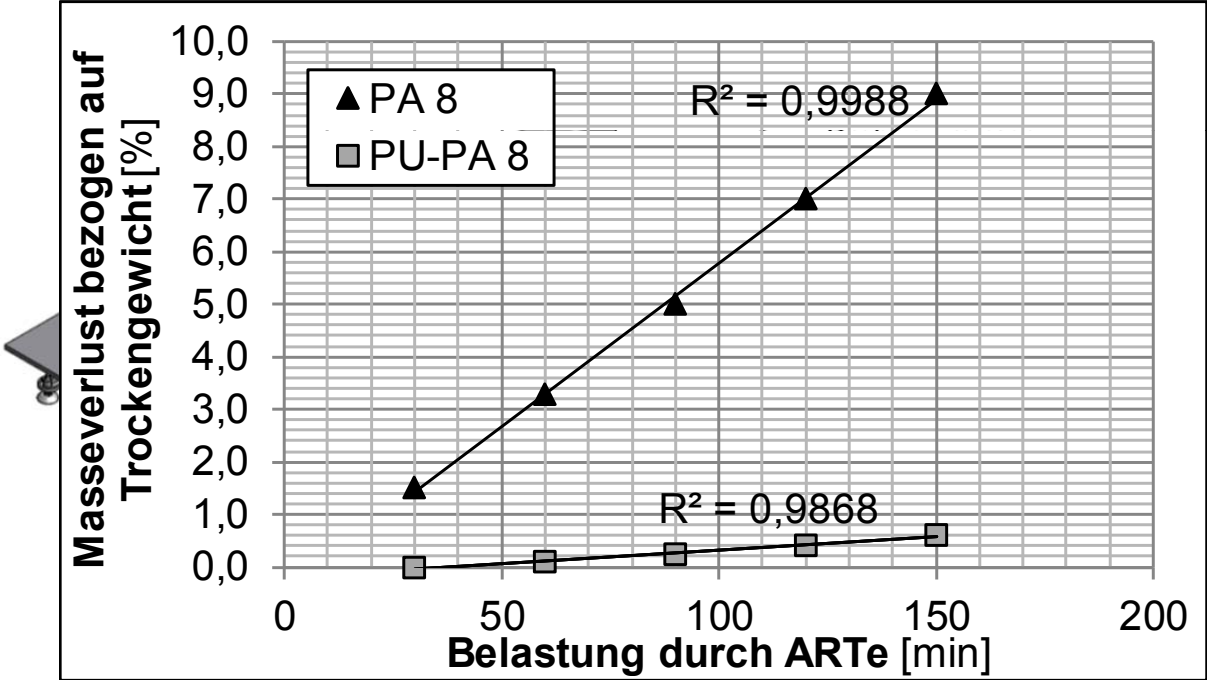
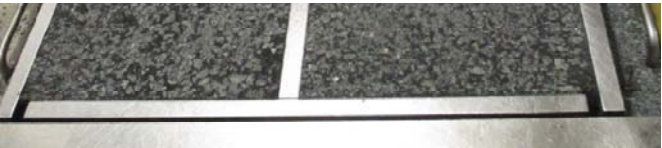
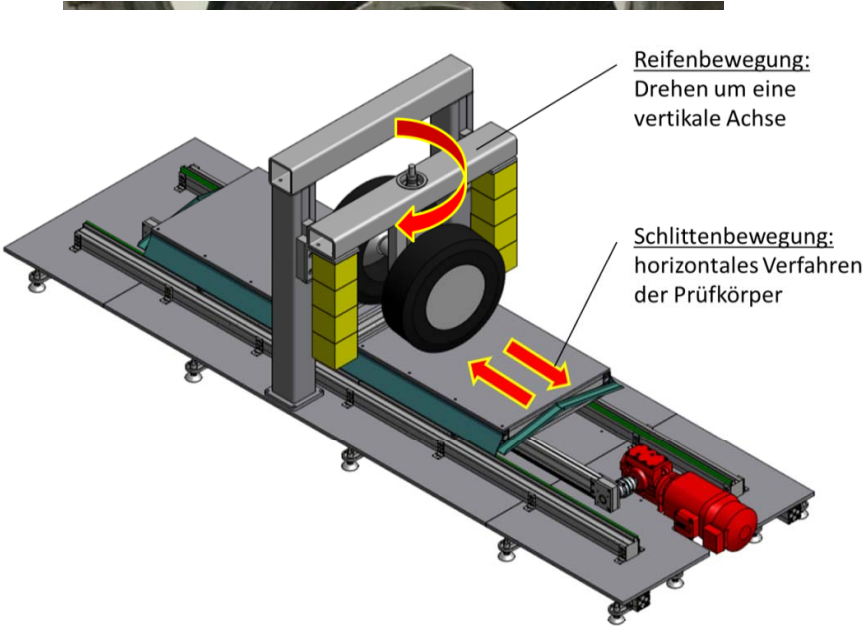
Dynamischer Dreipunkt-Biegeversuch (3PB)



Erkenntnisse:

- Modifikation der Prüfparameter ist zielführend
- Das Ermüdungsverhalten zeigt einen interpretierbaren Ermüdungsverlauf
- Mit zunehmender Lastwechselzahl kommt es einer Materialschädigung
- PU-Asphalt zeigt eine hohe Ermüdungsbeständigkeit

Aachener Raveling Tester (ARTe)



➔ PU-Asphalt zeigt einen hohen Widerstand gegen Schub- und Scherbeanspruchung

- Bitumen kann durch Polyurethan in Offenporigen Asphalten vollständig ersetzt werden
- Es können hohlraumreiche, hochstabile Baustoffe hergestellt werden
- Laborprüfverfahren können angewendet werden, müssen jedoch angepasst werden
 - PU-Asphalt zeigt im Grenzbereich ein vergleichbares Materialverhalten wie konventioneller bitumengebundener Asphalt
- PU-Asphalt zeigt eine bessere Performance als konventionelle Asphalte
 - Höherer Verformungswiderstand
 - Bessere Ermüdungsbeständigkeit
 - Höherer Widerstand gegen Kornausbruch
 - Ausreichende Kälteresistenz etc.



Technischer Nachweis im Labormaßstab ist erbracht!



Erste Einbauversuche



Parkplatz auf einem Betriebsgelände
130 Stellplätze auf 3.500 m²
Vollständig versickerungsfähig
Einbau im teilmaschinellen Verfahren



Quelle: BASF Polyurethanes GmbH

Parkbuchten mit rötlichem Natursplitt
(Glensander aus Schottland)
Zufahrtsstraßen aus grauem Natursplitt
(Diabas aus Bad Harzburg)

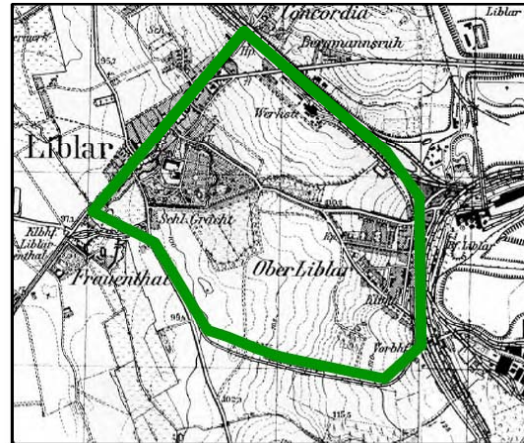


Quelle: BASF Polyurethanes GmbH





- Radweg Erftstadt Liblar:
 - Gefördertes Radwegprojekt
 - Barrierefreie Radweggestaltung
 - 670 m lang, 3,50 m breit
 - Einbau September 2018
- Materialverarbeitung:
 - 300 Tonnen Material
 - Hochskaliges Mischen
 - Maschinelles Einbau
 - Durchführung mit der Fa. Willy Dohmen



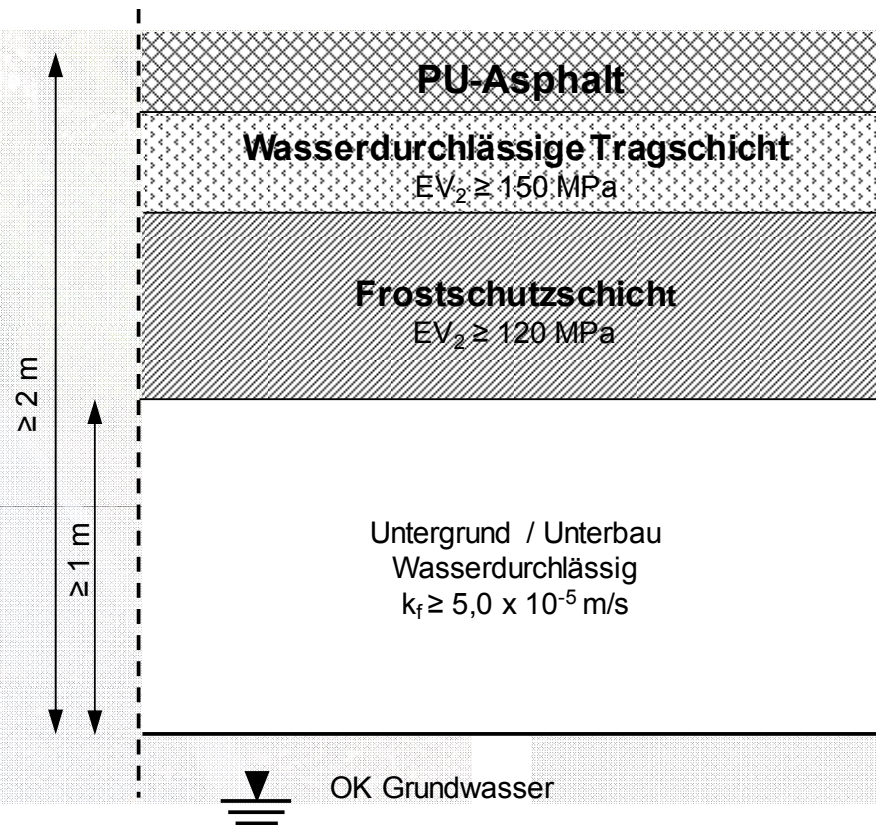
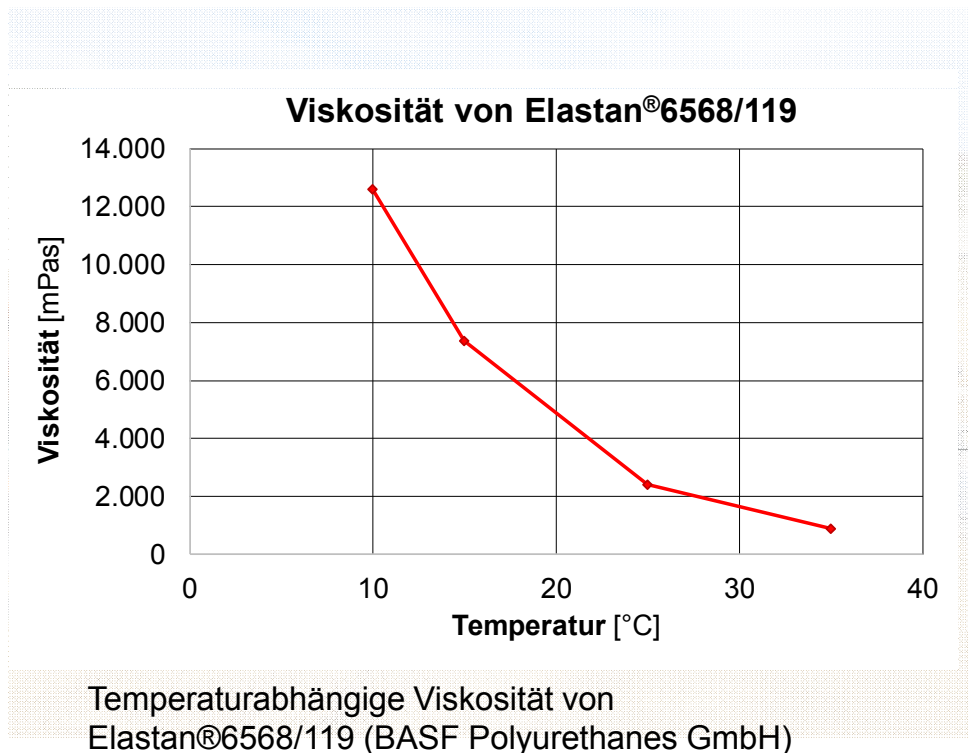


Bild 9.2: Schematische Darstellung einer versickerungsfähigen Befestigung und der einzuhaltenden Mindestabstände vom Grundwasser (i.A.a FGSV 2013B)







Radwegprojekt „Erftstadt“



Mobilität der Zukunft gestalten!
Ingenieurgesellschaft für Straßenwesen Aachen



ISAC
G M B H





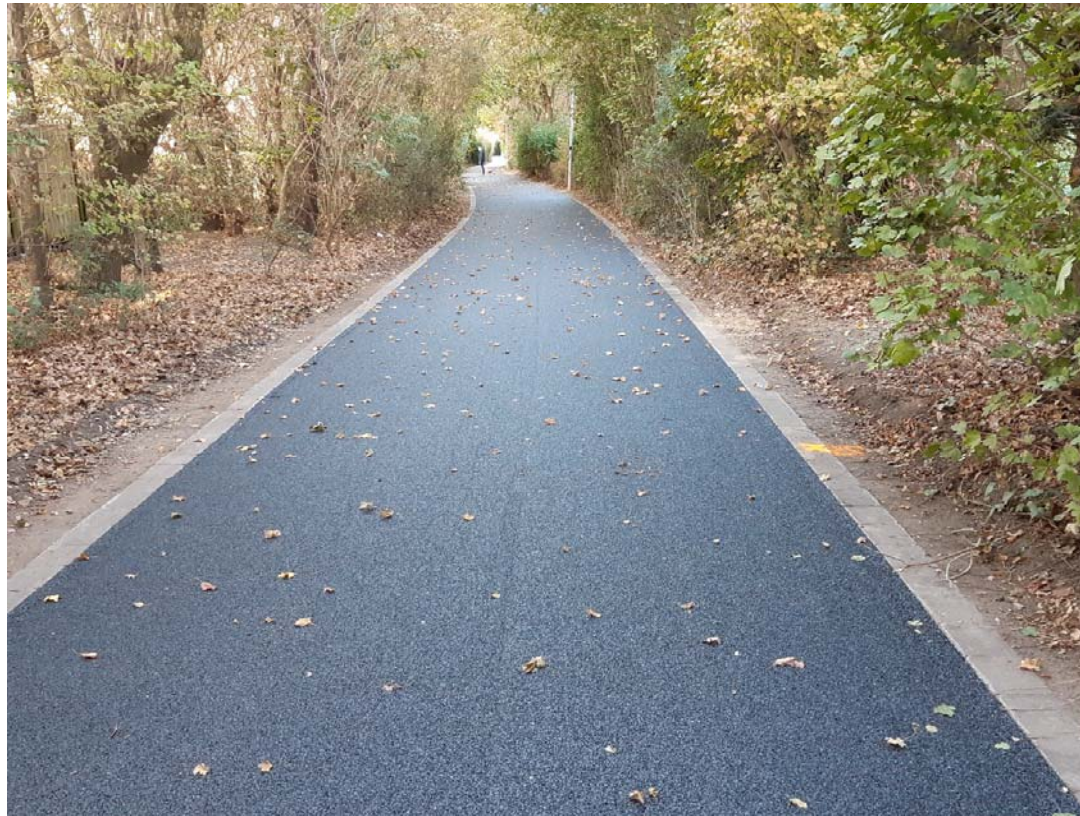
Radwegprojekt „Erftstadt“



Mobilität der Zukunft gestalten!
Ingenieurgesellschaft für Straßenwesen Aachen



ISAC
G M B H





- Einbautechnologie
 - Hochskalige Mischverfahren möglich
 - Konventioneller Einbau- und Verdichtungsprozess mit vorhandener Technik möglich
 - Erhöhter Reinigungsaufwand
- Anforderungen an die Baustoffe
 - Feuchtigkeit der Gesteine beeinflusst die Reaktion
 - Bindemitteltemperatur beeinflusst Dosierzeit
- Materialprüfung
 - Entwicklung/Anpassung von Prüfverfahren
 - Qualitätsüberwachung
 - Kontrollprüfungen
- Gremienarbeit
 - Erstellung von Verarbeitungshinweise
 - Einführung in Regelwerk



- Sorgsamer Umgang mit natürlichen Rohstoffen
 - Verwendung nachhaltiger Bindemittel
- CO₂-Reduktion
 - Geringerer Primärenergiebedarf bei der Materialherstellung durch Kalteinbauverfahren
 - Längere Lebensdauer kann erwartet werden
- Verbesserung des Stadtklimas
 - Vermeidung von UHI durch offenporige Struktur
 - Temporäre Speicherung von Niederschlagswasser zur Verdunstung
- Wasserhaushalt
 - Infiltration des Niederschlagswassers
 - Reduktion von Spitzenwasserabflüssen

- Derzeitige Einsatzgebiete
 - Moderat belastet Verkehrsflächen
 - Radwege
 - Fußgängerwege und Plätze
- Einsatz auf hochbelasteten Flächen möglich
 - Einsatz als hochfunktionaler, offenporiger Belag
 - Hohe Lärmreduktion möglich
 - Reduzierung von Sprühhfahnenbildung und Aquaplaningrisiko
 - Einsatz als wasserundurchlässige „halbstarre Deckschicht“ möglich

 **PU-Asphalt besitzt das Potential konventionelle Offenporige Asphalte zu ersetzen!**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. L. Renken

Ingenieurgesellschaft für Straßenwesen Aachen

ISAC GmbH

Pascalstraße 6

5076 Aachen

www.isac-gmbh.com

renken@isac-gmbh.com

