



ZENTRUM WASSER

BERATUNG – FORSCHUNG – WEITERBILDUNG



Sichere Wasserversorgung im Klimawandel

Anpassungsbedarf und Handlungsmöglichkeiten:
Wasserverteilung und Netzbetrieb

DVGW-Forum
Mülheim an der Ruhr (26. Februar 2014)

Wolf Merkel, Christian Sorge, Susanne Grobe



IWW RHEINISCH-WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR
WASSERFORSCHUNG GEMEINNÜTZIGE GMBH

Institut an der

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN



- **Klimawandel-Anpassung: Projekte**
- **Klimawandel: Betriebsbedingungen im Netz**
- **Wassernetze unter Klimawandel-Bedingungen**
 - **Hygienische Bewertung**
 - **Materialtechnische Bewertung**
- **Anpassung von Trinkwassernetzen**

Das BMBF-KLIMZUG Programm



Regionale Klimawandelanpassung

Klimaänderungen und Extremwetter in regionale Prozesse integrieren

Innovative Herangehensweise an neue Herausforderung

Regionale Anpassungsstrategien und –maßnahmen gemeinsam entwickeln und umsetzen

Regionale Wettbewerbsfähigkeit erhöhen

Modellprojekte mit Leitbildcharakter entwickeln

Auswirkungen des Klimawandels auf wasserwirtschaftliche Handlungsbereiche



IWW-Arbeitsbereiche in dynaklim

- Wasserhaushalt und Grundwasserbewirtschaftung
- Konkurrierende Wassernutzung
- Deckung des Wasserbedarfs in der Landwirtschaft
- Anpassung der Wasseraufbereitung
- **Hygiene in der Wasserverteilung**
- **Anpassungsfähige TW-Verteilungskonzepte**
- Ökonomische Bewertung und Anpassungskosten
- Alternative Konzepte zur Sicherstellung des Kühlwasserbedarfs



- **EU-Projekt „PREPARED – enabling change“**
 - Gefördert durch die EU im Rahmen des 7th Framework Programme 'Environment'.
 - Gesamtprojektfokus: Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungssysteme

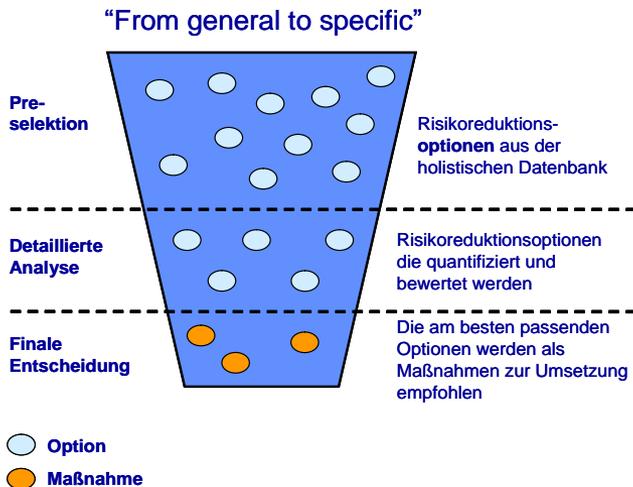
- **Ziele der IWW-AP: Management, hygienische Bewertung, Kosten-Nutzen**
 - Überblick von Gegenmaßnahmen zur Reduktion des Risikos für die städtische Wasserversorgung / Abwasserentsorgung in einer Datenbank
 - **Hygienische Bewertung der Risiken des Klimawandels in Trinkwassernetzen**
 - Bewertungstools (z.B. Kosten-Nutzen-Analyse) von Gegenmaßnahmen, insbesondere bei Investitionsentscheidungen

Projektkonsortium: Über ein Dutzend europäische Großstädte, über 30 internationale Institutionen (Wirtschaftsunternehmen und Forschungsinstitute)



Risikoreduktionsprozess

- (Monetäre) Quantifizierung des Risikos aus dem Klimawandel
- Bewertung von Risiko-Reduktionsmaßnahmen mit quantifizierenden Risikokennzahlen



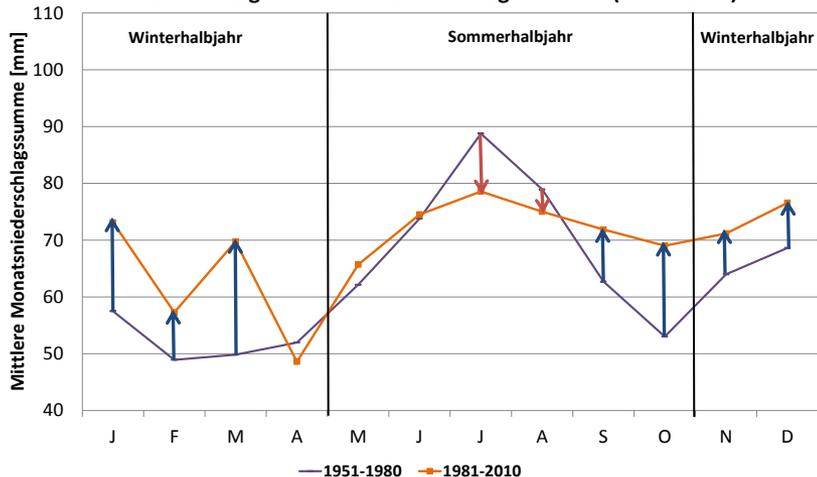
Arbeitsschwerpunkte

- Mitarbeit an der Methodik zur Quantifizierung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Folgen des Klimawandels
- Sammeln von Risikoreduktionsmaßnahmen
- (Monetäres) Quantifizieren von Risikoreduktionsmaßnahmen und anschließender Kosten/Nutzen- oder Kostenwirksamkeitsanalyse

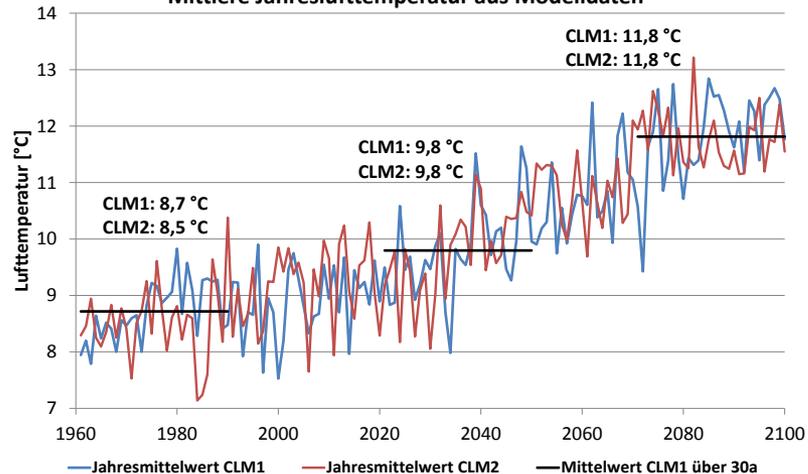
- **Klimawandel-Anpassung: Projekte**
- **Klimawandel: Betriebsbedingungen im Netz**
- **Wassernetze unter Klimawandel-Bedingungen**
 - **Hygienische Bewertung**
 - **Materialtechnische Bewertung**
- **Anpassung von Trinkwassernetzen**

Relevante Regionalszenarien – Klimawandel

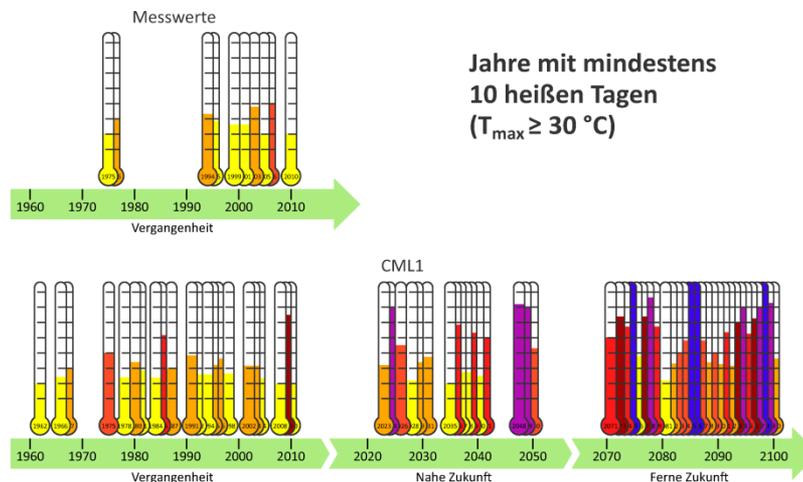
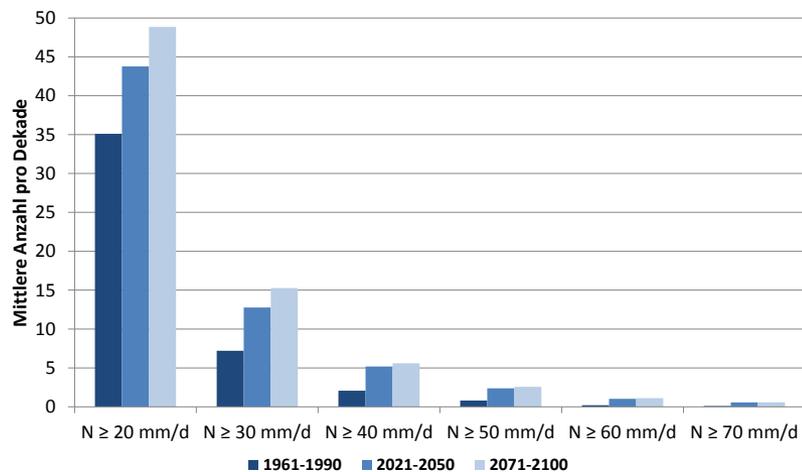
Veränderung der Monatsniederschlagssummen (Messdaten)



Mittlere Jahreslufttemperatur aus Modelldaten

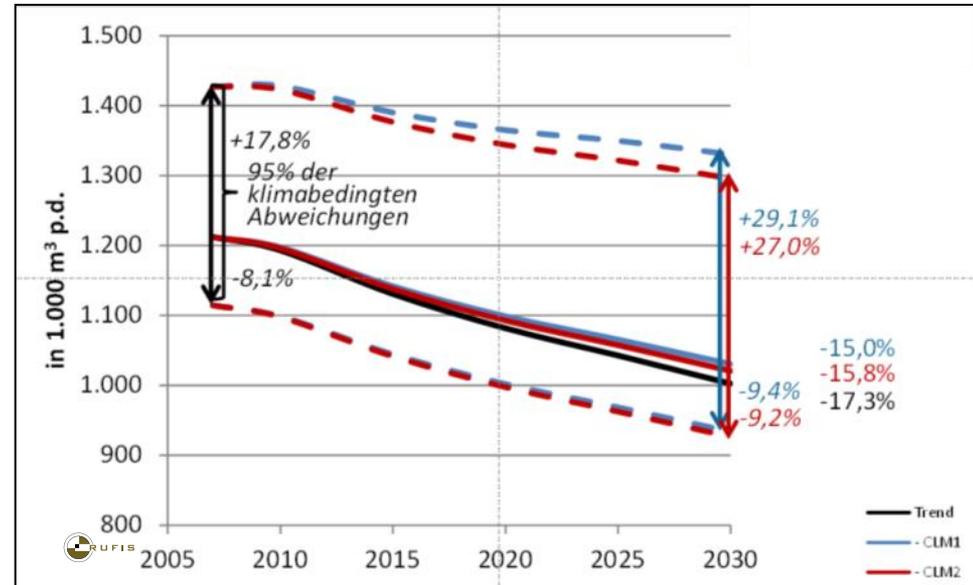


Starkregentage über Schwellenwerten (CLM1-Modelldaten)



Relevante Regionalszenarien (Klima, Demografie, Wirtschaft)

- Entwicklung von 3 sozio-ökonomischen und 4 KW-Szenarien
- In jedem der Szenarien nimmt der Trinkwasserbedarf trendmäßig ab (-12,7 bis -22,9 % bis 2030)
- KW bremst den Rückgang wenig (ca. - 10 % und - 21 %)
- Zunehmende Bandbreite (ca. + 36 % und + 49 % um Mittelwert, besonders im Sommerquartal)
- Spitzenlast geht nur wenig zurück (ca. - 1% und - 9 %)



Tageswasserbedarf *dynaklim*-Szenario „Moderater Wandel“ (2007-2030)
RUFIS 2012

Klimawandel in der dynaklim-Region

- **Mildere Winter mit zunehmenden Niederschlägen**
- **Heißere und trockenere Sommer mit wiederkehrenden Starkregen**
- **Anstieg der mittleren Jahrestemperatur (+2 bis 3,5 °C bis 2100)**
- **Sinkende durchschnittliche Wasserabgabe bei gleichzeitiger Erhöhung der Spitzenfaktoren**



dpa, 2008



Universität Duesburg-Essen, AGAK

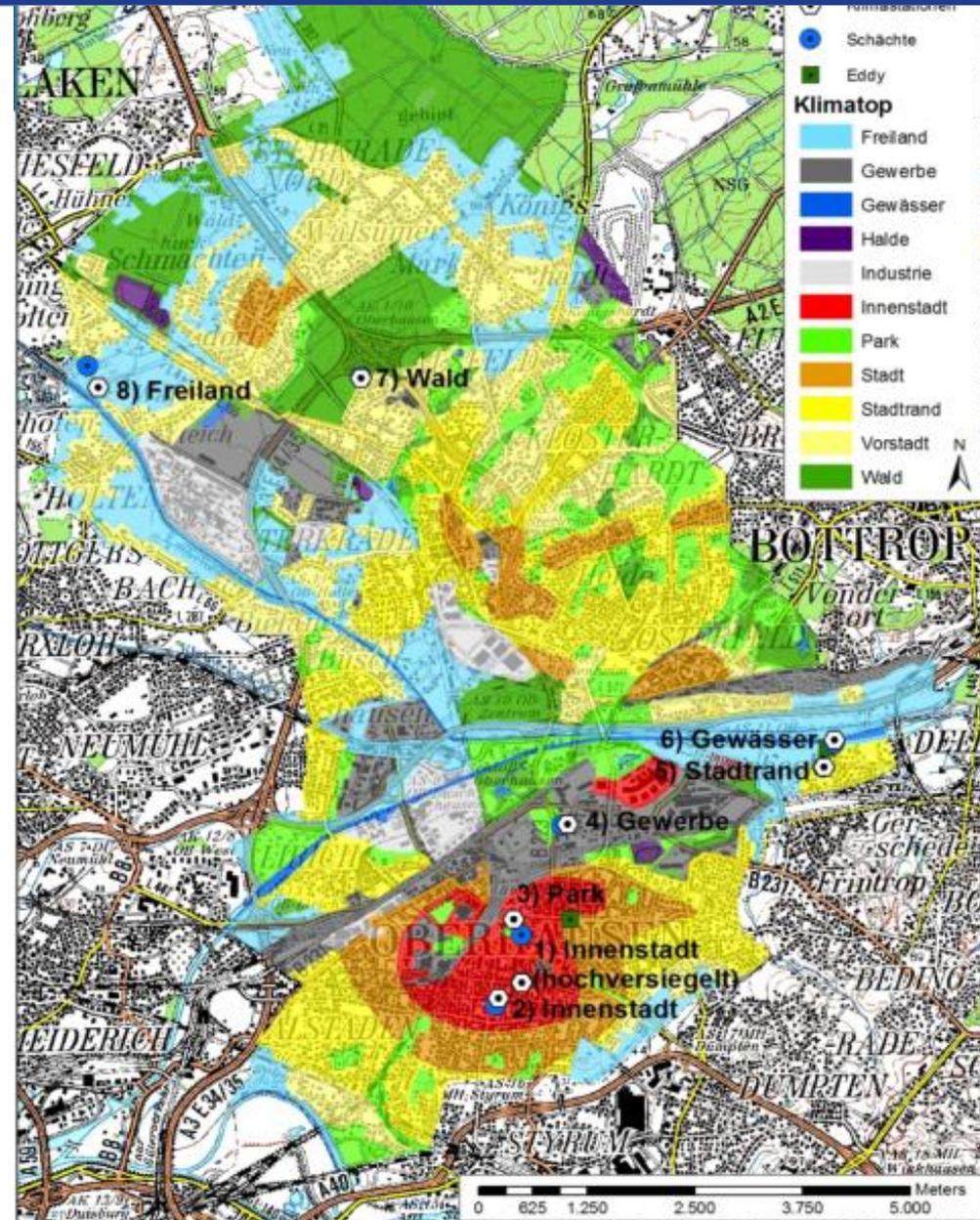
Klimawandel in Deutschland: Ruhrgebiet als urbaner Ballungsraum

Urbane Räume überhitzen häufiger

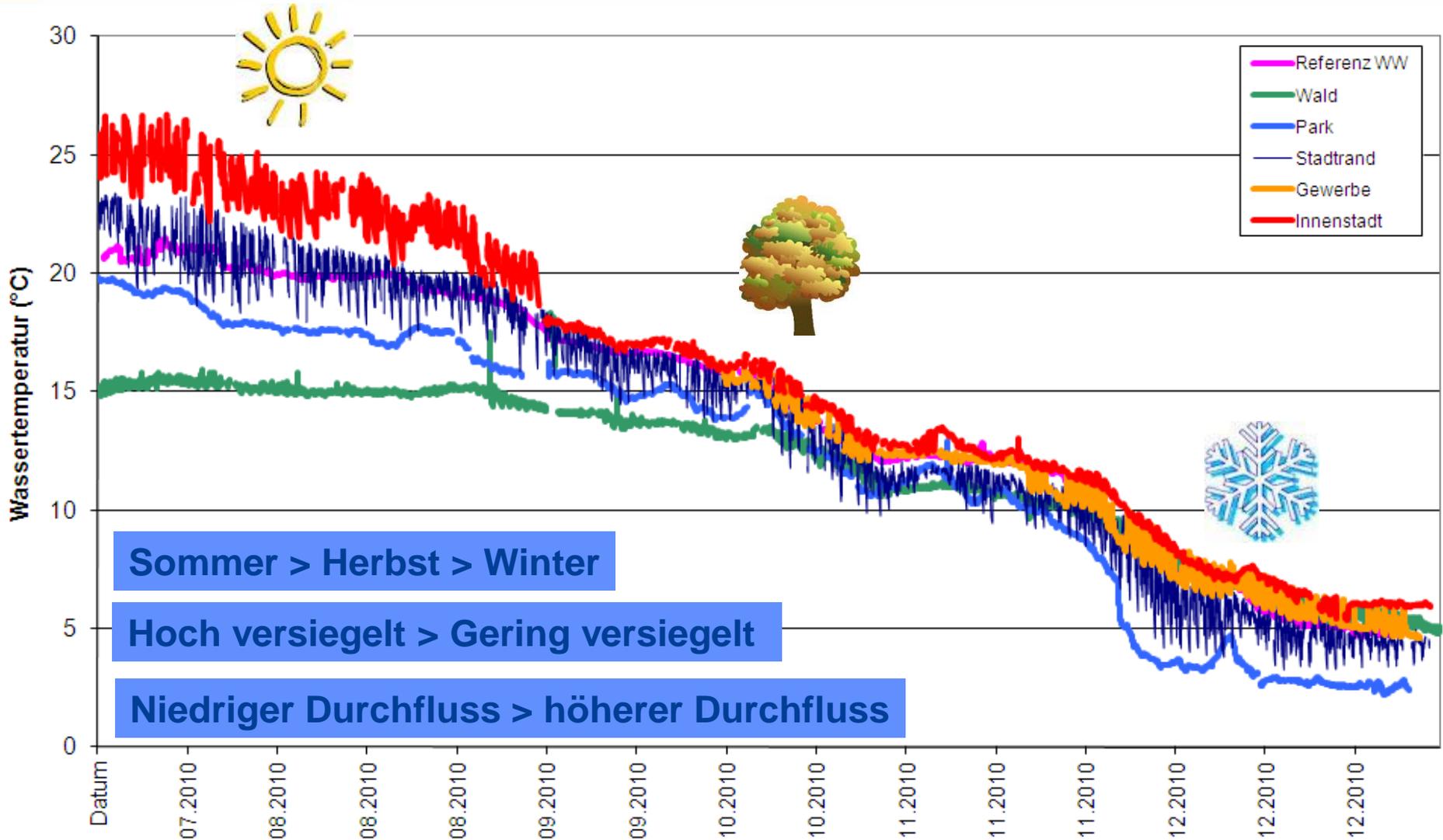
- Auswirkungen des Klimawandels sind mit regional stark ausgeprägten Unterschieden zu erwarten
 - sog. Wärmeinseln in den Zentren der Großstädte (hoher Versiegelungsgrad und Wärmeaufnahme bzw. –speicherkapazität urbaner Verdichtungsräume)
- ➔ In Innenstädten sind die Temperaturen um bis zu 9 °C höher als im ländlich geprägten Umland

Kuttler (2011): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen

Dr. Dirk Dütemeyer; Universität Duisburg-Essen
Fakultät für Biologie; Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie

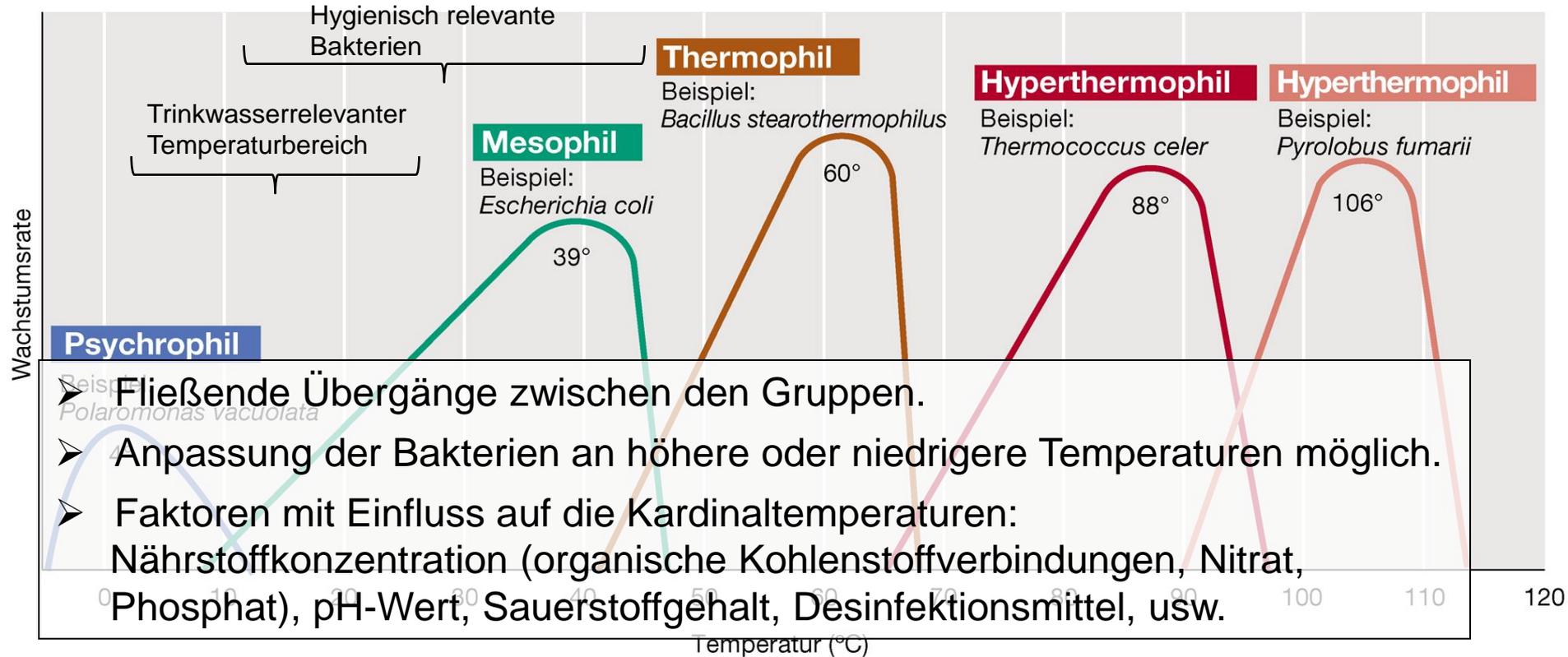


Trinkwassertemperatur - durch das Klima beeinflusst?



- **Klimawandel-Anpassung: Projekte**
- **Klimawandel: Betriebsbedingungen im Netz**
- **Wassernetze unter Klimawandel-Bedingungen**
 - **Hygienische Bewertung**
 - **Materialtechnische Bewertung**
- **Anpassung von Trinkwassernetzen**

Bakterien: Wachstum und Einflussfaktoren



Organismen	Minimal (°C)	Optimal (°C)	Maximal (°C)
Coliforme Bakterien fäkaler Herkunft			
<i>Escherichia coli</i>	8 - 10	39	48
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	10	36-38	46
Fakultativ pathogene Umweltbakterien			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9	37	43
<i>Legionella pneumophila</i>	25	32-35	45

Quelle: Brock Mikrobiologie, 2006

J. Wingender
Biofilm Centre

Mikrobiologische Trinkwasserqualität – Welche Folgen hat der Klimawandel?

Erwärmung der oberen Bodenzonen und dadurch des Trinkwassers
im Verteilungsnetz durch den Klimawandel?

Ermittlung/Bewertung von Temperaturveränderungen und möglichen
mikrobiologischen Veränderungen im Trinkwasser
(Aufkeimung, Vermehrung hygienisch relevanter Mikroorganismen)

Feldversuche

Biofilmreaktoren mit Oberflächen-Coupons

Laborversuche

temperierbare Biofilmreaktoren mit Oberflächen-Coupons

Variierende Wassertemperaturen

Klimatope (z. B. Freiland, Innenstadt)

kleinschrittige Temperaturbereiche: 12 – 25 °C

Oberflächen-Coupons aus Netz-relevanten Materialien

Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM), Polyethylen (PE), Edelstahl

Netzmanagement

Nennweiten, Durchfluss etc.

Nährstoffgehalt des Trinkwassers

5 µg – 150 µg/L Acetat-Äquivalent

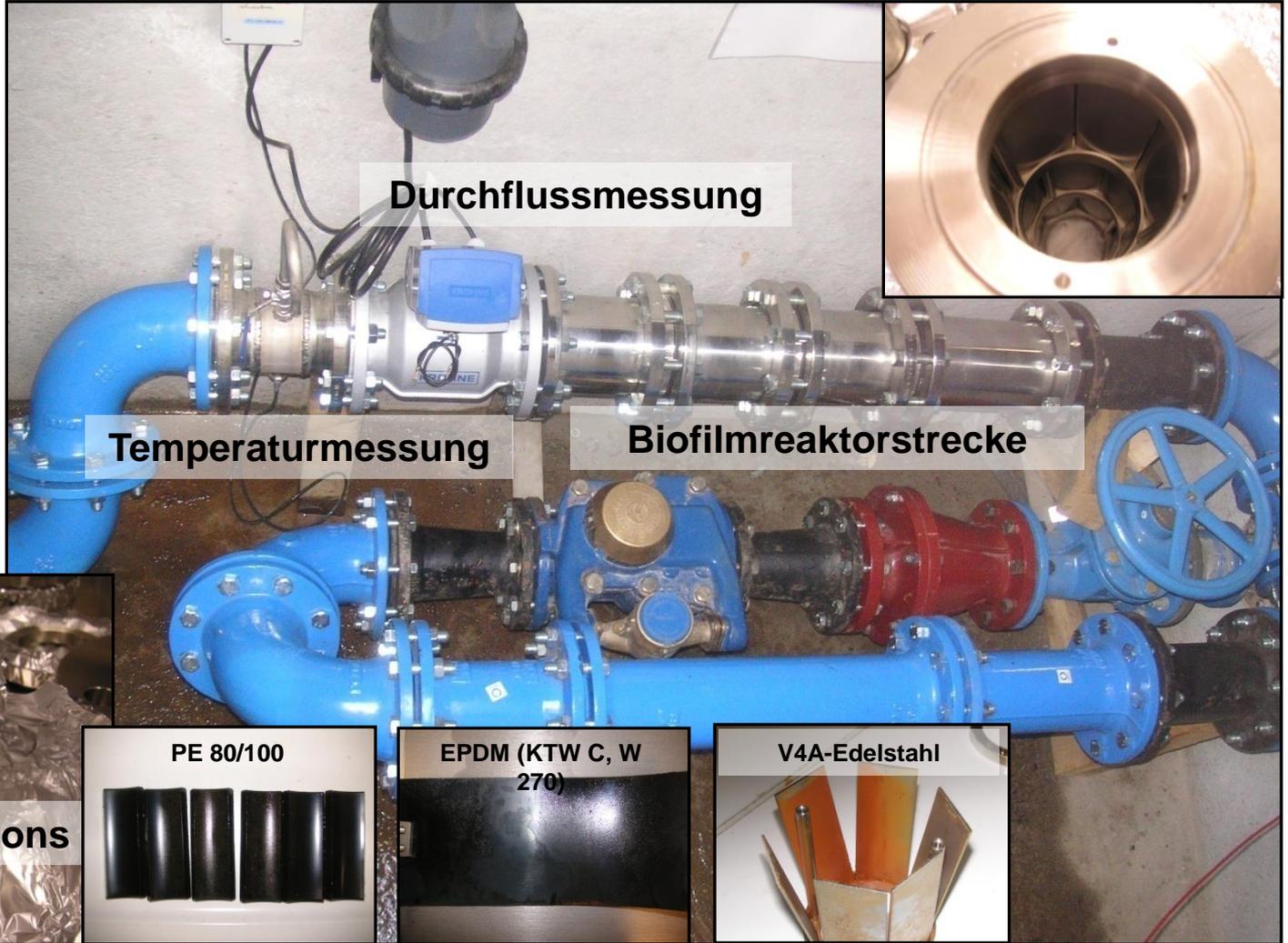
Mikrobiologische Charakterisierung des Wassers sowie der Biofilme

Kulturelle Parameter nach TrinkwV, molekularbiologische Parameter

Fragestellung

Vorgehensweise

Mikrobiologisches-hygienisches Monitoring im Feldversuch



Durchflussmessung

Temperaturmessung

Biofilmreaktorstrecke

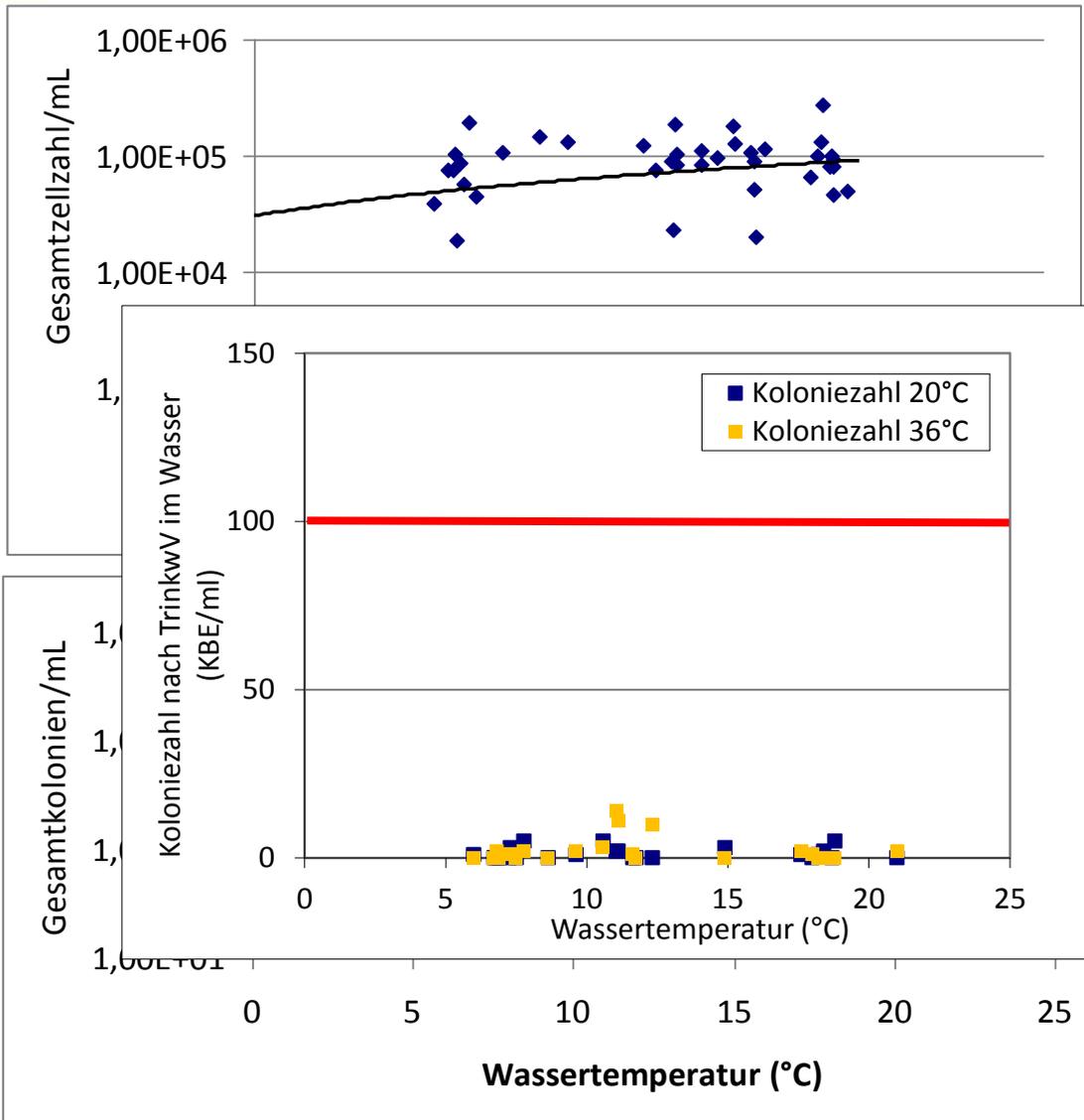
Oberflächen-Coupons

PE 80/100

EPDM (KTM C, W 270)

V4A-Edelstahl

Mikrobiologische Qualität des Trinkwassers?



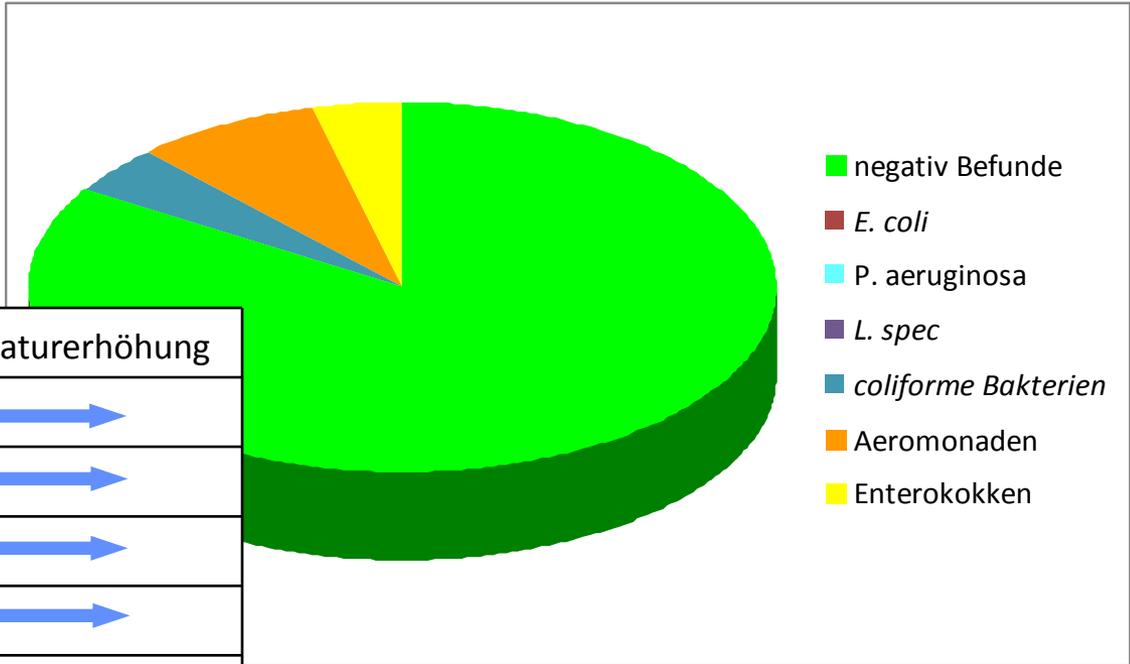
Charakterisierung Trinkwasser

- Rohwasser: Oberflächenwasser-angereichertes Grundwasser
- Mehrstufige Aufbereitung: „Mülheimer Verfahren“
- UV-Desinfektion

Biologisch stabiles Wasser

- AOC: 5 µg/L
- C:N:P-Verhältnis
100:45.000:380
signifikante C-Limitierung!

Mikrobiologische Qualität des Trinkwassers?



	Temperaturerhöhung
Koloniezahl 20°C nach TrinkwV	→
Koloniezahl 36°C nach TrinkwV	→
Gesamtzellzahl	→
<i>E. coli</i>	→
Coliforme Bakterien	→
<i>P. aeruginosa</i>	→
<i>Legionella spec.</i>	→

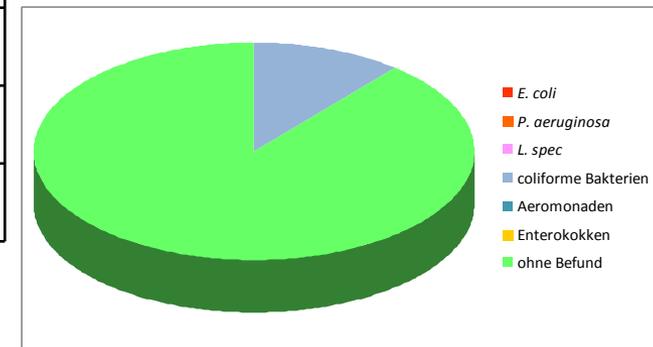
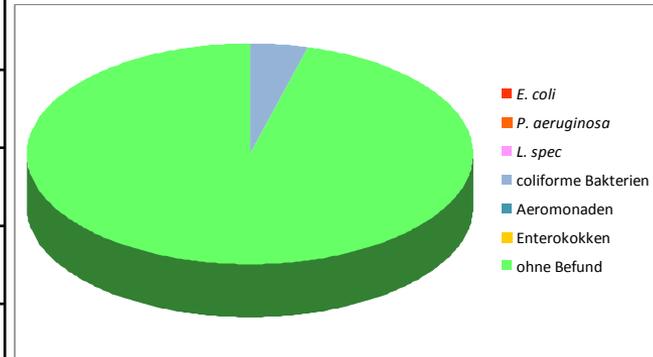
Sehr gute mikrobiol. Trinkwasserqualität > keine Beeinflussung durch Temperatur

Keine Aufkeimung nachweisbar

Keine Häufung hygienisch relevanter Mikroorganismen

Mikrobiologische Qualität des Biofilms?

	Temperaturerhöhung
Koloniezahl 20°C nach TrinkwV	
Koloniezahl 36°C nach TrinkwV	
Gesamtzellzahl	
<i>E. coli</i>	
Coliforme Bakterien	
<i>P. aeruginosa</i>	
<i>Legionella spec.</i>	

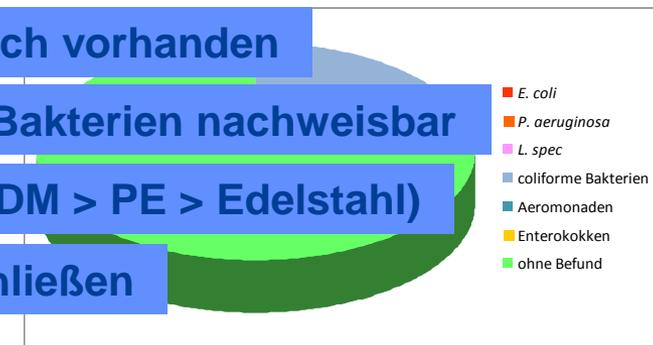


Hygienisch relevante Mikroorganismen sporadisch vorhanden

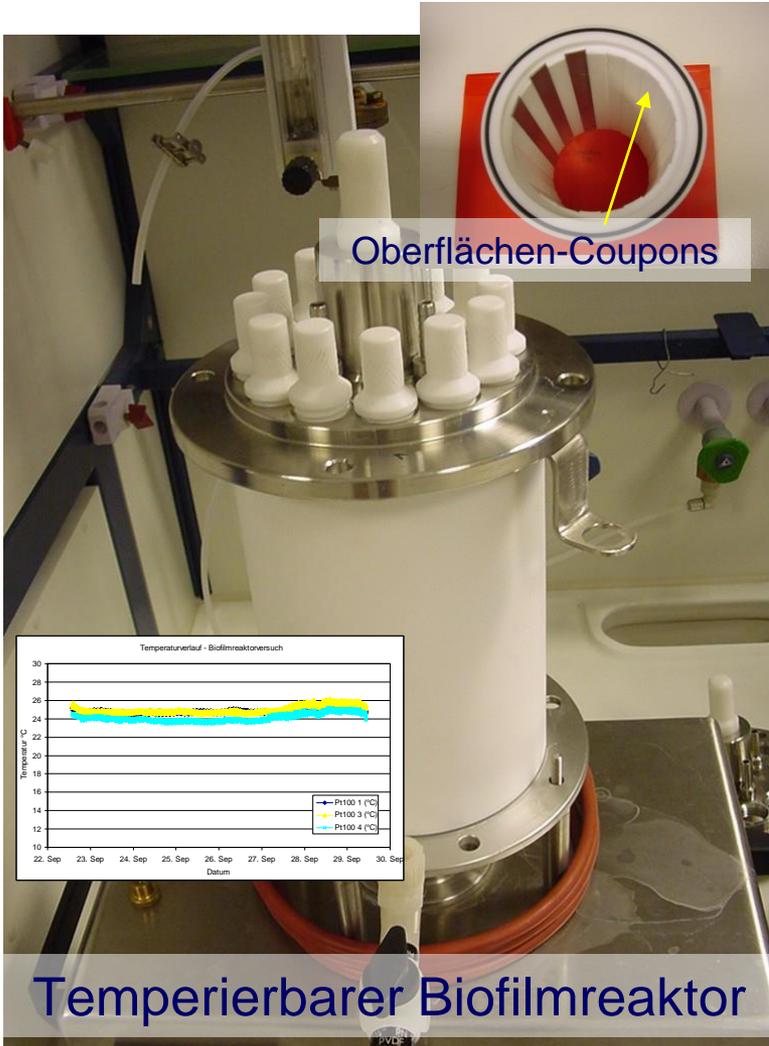
Temperatur-abhängiger Effekt nur für coliforme Bakterien nachweisbar

Besiedlungshäufigkeit ist Material-abhängig (EPDM > PE > Edelstahl)

Kontaminationsrisiko nicht vollständig auszuschließen



Laborversuche: Trinkwasserqualität in Wasserphase/Biofilm



Etablierung TW-Biofilm mit und ohne Nährstoffzugabe
Dauer: 14 Tage, Temperaturen: 12 – 29 °C

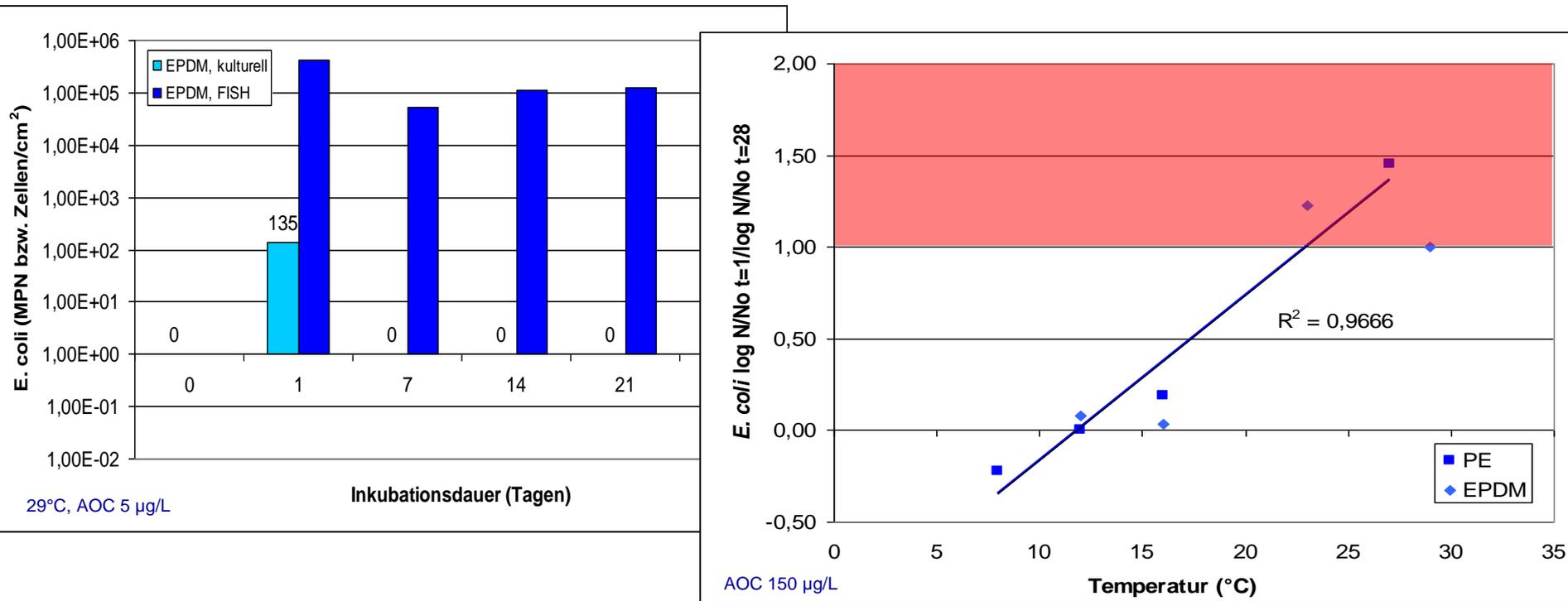
Charakterisierung des TW-Biofilms vor Einnistung

Einnistung hygienisch rel. Bakterien in den TW-Biofilm
E. coli/Klebsiella pneumoniae bzw. *P. aeruginosa*
L. Pneumophila
Dauer: Übernacht, stagnierende Versuchsbedingungen

Quantifizierung der mikrobiol. Parameter über 28 d
Zu-, Ablauf, PE und EPDM
Parameter nach TrinkwV, GZZ, HPC, FISH, qPCR



Persistenz und Vermehrung – *Escherichia coli*



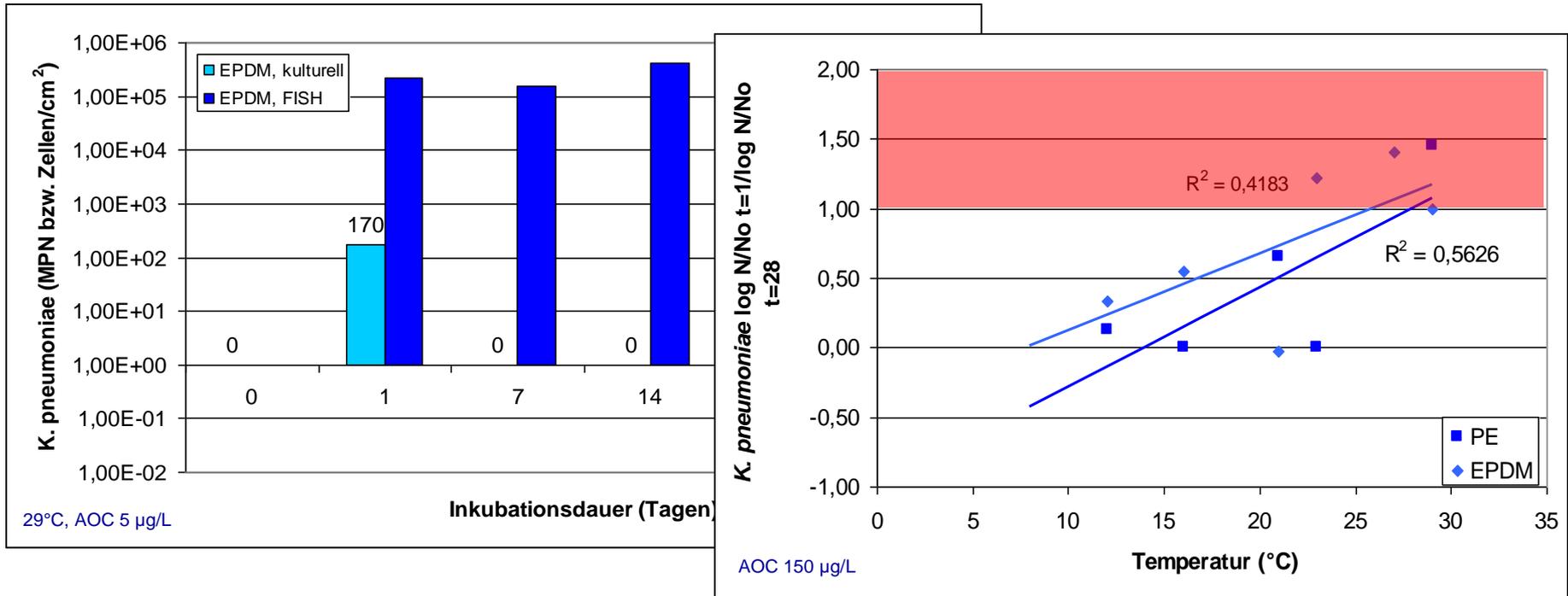
Persistenz

geringer Nährstoff-Gehalt limitiert die Persistenz (kulturelle Methode)
hoher Nährstoff-Gehalt verlängert die Persistenz deutlich (kulturelle Methode)

Vermehrung

geringer Nährstoff-Gehalt, keine Vermehrung nachweisbar!
hoher Nährstoff-Gehalt, Vermehrung ab ca. $\geq 23^\circ\text{C}$ nachweisbar!!!

Persistenz und Vermehrung – *Klebsiella pneumoniae*



Persistenz

geringer Nährstoff-Gehalt limitiert die Persistenz (kulturelle Methode)
hoher Nährstoff-Gehalt verlängert die Persistenz deutlich (kulturelle Methode)

Vermehrung

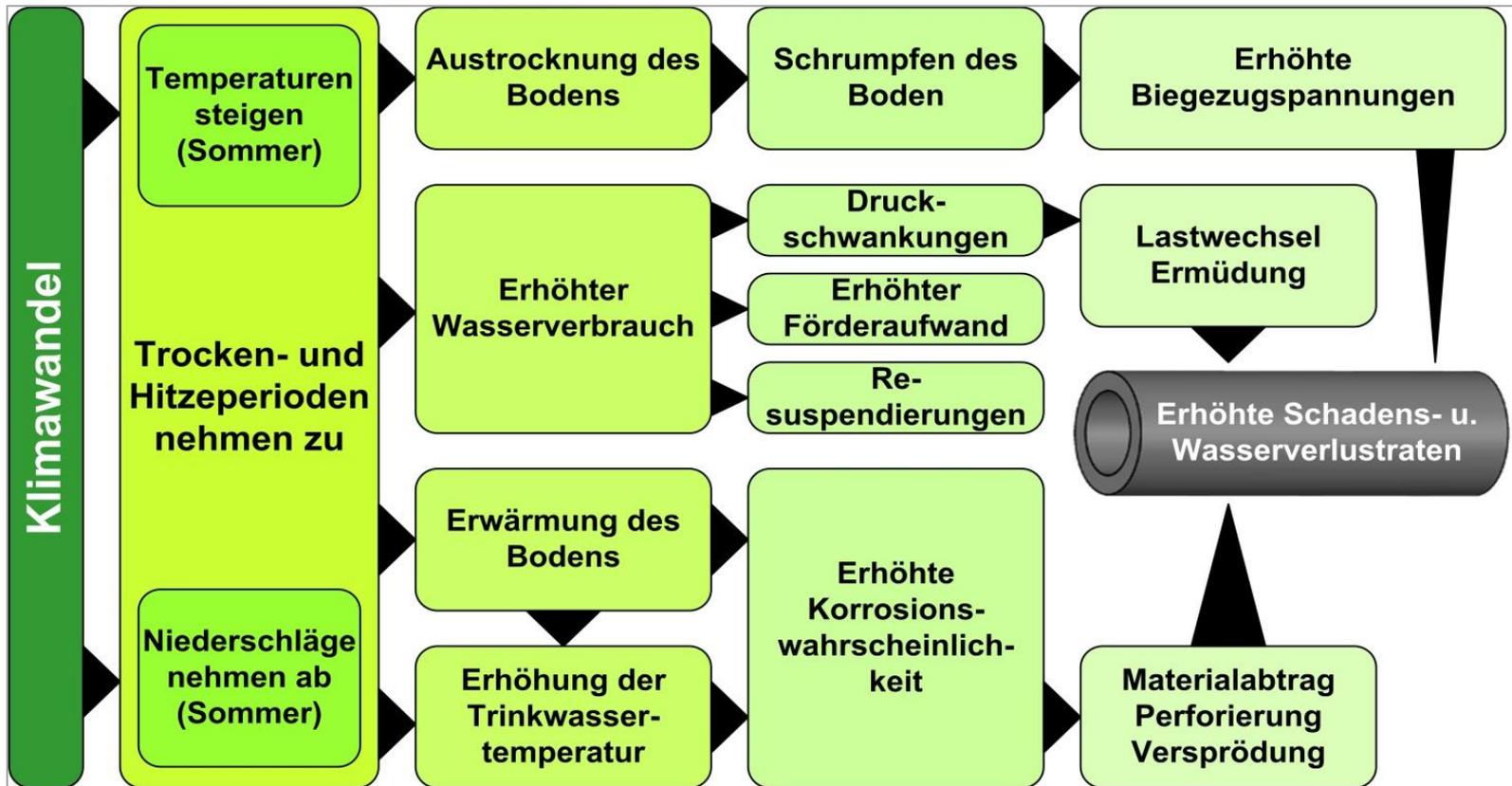
geringer Nährstoff-Gehalt, keine Vermehrung nachweisbar!
hoher Nährstoff-Gehalt, Vermehrung ab ca. $\geq 23^{\circ}\text{C}$ nachweisbar!!!

Schlussfolgerungen (1): Hygiene

- Klima-bedingte Temperaturerhöhungen im TW-Netz sind stark abhängig vom Netz und vom Netzbetrieb
 - abhängig vom Durchfluss, Verlegungstiefe
 - Problematik der „hochversiegelten“ Standorte
- Aufkeimungen sind für das untersuchte nährstoffarme Trinkwasser sind auch im Klimawandel nicht zu erwarten
- Einnistung hygienisch relevanter Mikroorganismen nach Kontamination im TW-Biofilm möglich
 - Persistenz der Mikroorganismen ist stark abhängig vom Nährstoffangebot und Temperatur
 - Vermehrung (unter Laborbedingungen) bei günstigem Nährstoffangebot und Temperaturen $> 23^{\circ}\text{C}$ für das coliforme Bakterium *K. pneumoniae* und *Escherichia coli*

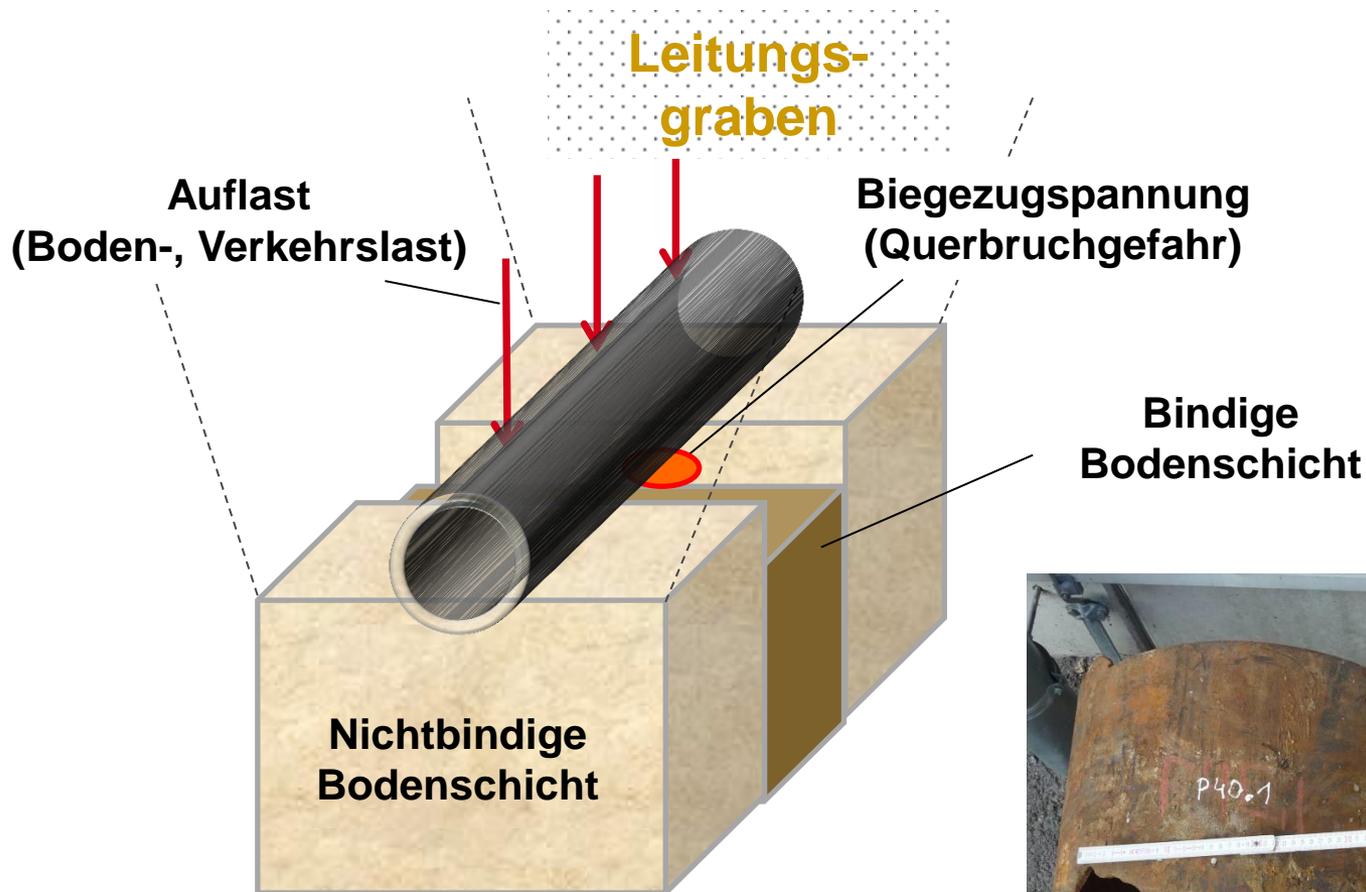
Klimawandel: Materialtechnische Bewertung

→ Zunehmende Hitze- und Trockenperioden werden das Bodengefüge und die Beschaffenheit des Trinkwassers verändern. Mögliche Folgen für die mechanische Belastungen auf die Rohrleitung, Korrosion und Wasserqualität



Nutzungsdauer: Einfluss Bodenmechanik

- Schwinden / Schrumpfen von bindigen (tonigen, schluffigen) Bodenschichten
- In Trockenperioden erhöht die Querbruchgefahr von spröden Werkstoffen



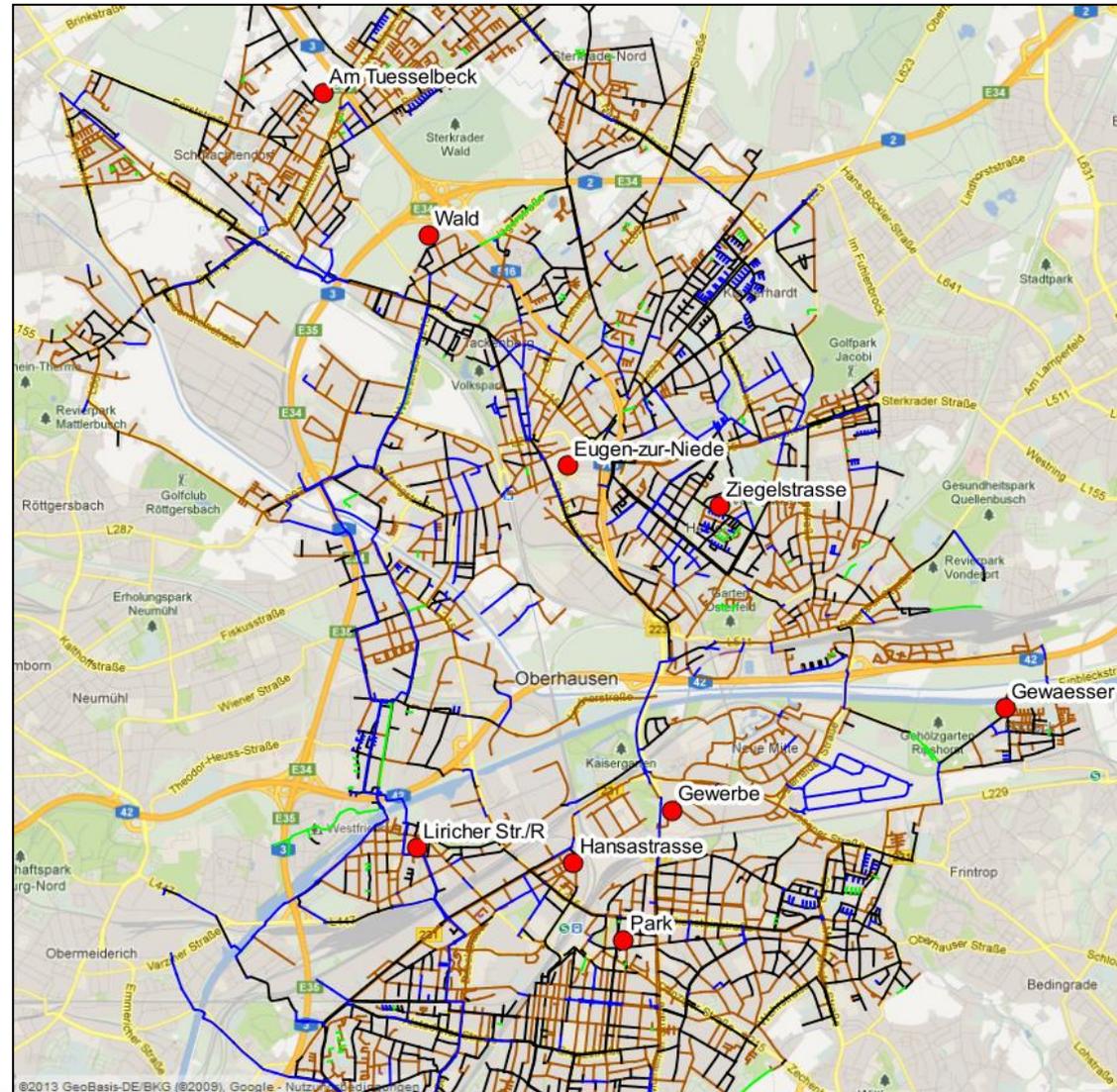
Nutzungsdauer von Rohrleitungssystemen

- Ermittlung der verlegten Rohrleitungssysteme (Verlegebedingung, Werkstoff, Nennweite)
- Analyse von Bodenaufschlüssen
- Modellierung zukünftiger Veränderungen in Boden-Wasser-Haushalt und Bodenchemie
- Ermittlung der Vulnerabilität hinsichtlich:
 - Korrosionsbelastung
 - Mechanische Belastung (Ermittlung der Anfälligkeit hinsichtlich Brüchen und Rissen)

Werkstoff	Farbe	Länge (km)	Anteil
Stahl	Blau	77,3	12,0%
Duktiles Gusseisen	Braun	322,5	50,1%
Grauguss	Schwarz	232,3	36,1%
Polyvinylchlorid	Violett	0,8	0,1%
Polyethylen	Grün	10,2	1,6%
Gesamt:		643,1	100,0%

 Bodenaufschlüsse

Untersuchungsgebiet: Oberhausen



Quelle: RWW

Nutzungsdauer: Einfluss Werkstoffe

Verwundbarkeitsklassen in Abhängigkeit von Werkstoff und Korrosionsschutz

Festigkeitseigenschaft	Werkstoff	Gefährdung durch				Klasse
		Bruch*	Längsriss	Korrosion	Muffenaustritt**	
Spröde, biegefesten Werkstoffe	GGL I, GGL II	++	++	+	möglich	1
	GGL III	+	+	++	möglich	2
	PVC	+	+	+	nicht möglich	3
Elastische, biege-weiche Werkstoffe	GGG I	---	--	++	nicht möglich	4
	AZ	-	--	-	nicht möglich	5
	St I, St II	---	--	+	möglich	6
	St III	---	--	-	nicht möglich	7
	St IV, GGG II, PE	---	--	--	nicht möglich	8
Aktuell eingesetzte Rohrwerkstoffe	Spb	-	--	-	nicht möglich	(9)
	GFK	--	--	--	nicht möglich	(10)

Risikobehafteter Bestand

Aktuell eingesetzte Rohrwerkstoffe

* Umfasst Quer- und Schalenbrüche

++ = sehr hoch bis -- = sehr niedrig

--- = in der Trinkwasserversorgung technisch nicht möglich

** Längsverschiebung bei losen, nicht längskraftschlüssigen Verbindungen

Schlussfolgerungen (2): Material

- **Zunehmende Hitze- und Trockenperioden verändern das Bodengefüge und die Beschaffenheit des Trinkwassers**
- **Klimawandel kann die Querbruchgefahr erhöhen**
 - **Bei Alt-Werkstoffen (spröde, biegesteif)**
 - **Ersatz von Altleitungen durch moderne Werkstoffe senkt die Risiken des Klimawandels**
- **Erhöhte Korrosionsgefahr nur bei mangelndem Korrosionsschutz (unabhängig vom Klimawandel)**

- **Klimawandel-Anpassung: Projekte**
- **Klimawandel: Betriebsbedingungen im Netz**
- **Wassernetze unter Klimawandel-Bedingungen**
 - **Hygienische Bewertung**
 - **Materialtechnische Bewertung**
- **Anpassung von Trinkwassernetzen**

Anpassung der Wasserverteilung: Roadmap zum Klimawandel

Scoping

("das Aktionsfeld")

Exposition

Folgen des
Klimawandels

Sensitivität

1. Trockenperioden

2. Starkregen
Hochwasser

Vision

("mögliche Zukünfte")

Backcasting

("Anpassungspfade")

Roadmap-Modul „Wasserversorgung“

Siedlungs-
entwässerung

Wasser-
versorgung

Oberflächen-
gewässer

Grund-
wasser

Folgeszenarien

Anpassungs-
strategien

Wirkpfade

Betroffenheit/Akteure

Anpassungspotenziale

Handlungsoptionen

Ziele

SWOT

Maßnahmen

Capacity Building

Störfaktoren / Stolpersteine

Roadmap 2020 ("Transfer, Umsetzung")

Handlungsbereich: Wasserversorgung – Verteilung

Folgen des Klimawandels

Klimawandel in ELR: **1) Trockenperioden** 2) Starkregen/Hochwasser

KW-Auswirkung: **Höhere Nachfrage, Qualitätsveränderungen**

Überflutung Anlagen, Infrastruktur

Folgeszenarien: Wirkpfade

- **Erwärmung: u.U. bessere Wachstumsbedingungen für MO im Verteilungssystem (GZZ, ggf. Wachstum von Pathogenen) wenn Nährstoffe bereitstehen, Verringerung der Desinfektionskapazität durch schnelleren Zerfall**
- **Ggf. höhere Schadensanfälligkeit (Rohrbrüche): Austrocknung – Überflutung, Eindringen von Hochwasser in Schächte, Pumpwerke, ...)**
- **In Verbundsystemen: Anpassung bezgl. Mischbarkeit verschiedener Wässer**
- **Überflutung bei Hochwasser**
- **Erschwerte Bedingungen bei Baustellen (Überfluten offener Baugruben, Hygiene bei gelagerten Materialien, ...)**
- **Beeinträchtigung bei Stromausfall**

Handlungsbereich: Wasserversorgung – Verteilung

Folgeszenarien: Betroffenheit in der ELR

Betroffene WV-Systeme?

Einschätzung der Betroffenheit ?

(= Bewertung kann nur auf der Basis einer standortbezogenen Analyse erfolgen)

Folgeszenarien: Akteure

Betroffen: WVU

Akteure: WVU, Kommunen (mittelbar: Behörden)

Folgeszenarien: Anpassungspotenziale

- A) WA ggf. anpassen: Nährstoffelimination, Stabilisierung-Desinfektion, Mischbarkeit, Partikeleintrag-Partikelbildung vermeiden**
- B) Netzstruktur: für Durchfluss sorgen, Strukturanpassung gemäß Bedarf**
- C) Netzkomponenten und –zustand: Materialien, Bettung, Schadensbeseitigung, INST-Strategie**
- D) Netzbetrieb: Spülung-Reinigung zur Entfernung von Ablagerungen**
- E) Baustellenmanagement: Nochmals erhöhte Sorgfalt bei hohen Temperaturen und Eingriffen in das Netz um Verkeimungen zu vermeiden**
- F) Entsiegelung von Rohrnetztrassen, Berücksichtigung in der Stadtplanung,**
- G) Verlegetiefe in sensiblen Gebieten anpassen**

Handlungsbereich: Wasserversorgung – Verteilung

Anpassungsstrategien/Handlungsoptionen

Prämissen: Gesundheitsgefährdung ausschließen / Qualität beibehalten / keine mech. Schäden

Katalog Anpassungsoptionen/-ziele (auf die jeweilige regionale Situation anzupassen)

100 %-Variante

Jeder Engpass (Menge, Kontinuität) und jede (auch kurzzeitige) Qualitätsverminderung wäre auszuschließen.

95 %-Variante

Minimierte Ausfallwahrscheinlichkeit: Generell wird TW in geforderter Menge und 24/365 bereitgestellt, nach Maßgabe der TrinkwVO. Abstriche: nur kurzzeitig, nur sek. Q-Parameter (Mischbarkeit, Korrosivität)

Maßnahmen:

1) Risiko- und Potenzialanalyse für jedes VS-System zur Netzstruktur, -komponenten, -betrieb und Wasserbeschaffenheit (Klimawandel, Demografie, Wirtschaftsentwicklung)

2a) Kurzfristig: ggf. Anpassung der WA, Umbau gefährdeter Punkte im WV-System (Schächte, Strom, ...)

2b) Mittel- bis langfristig (5-30a): Umbau Netzstruktur und -komponenten

Handlungs- horizont

Von kurz- bis langfristig, strategische Anpassungsplanung über Jahrzehnte, unter Berücksichtigung der Demografie, des Strukturwandels und des Klimawandels

Handlungsempfehlungen (1)

Wasseraufbereitung

- **Aufbereitung von mikrobiologisch-stabilem Trinkwasser ...**
 - Z.B. optimierte Fällung/Flockung, Schnellfiltration, biologisch aktivierte GAC-Filtration, Langsamsandfiltration, gesteuerte Ozondosierung
- **... verringert nachweislich die Aufkeimungsgefahr bei T-Anstieg**
 - durch verringerte Biofilm-Bildung, geringere Neigung zur Einlagerung/Vermehrung von hyg. relevanten MO (*P. aeruginosa*, *L. pneumophila*) im Biofilm
- **Desinfektion mit Depoteffekt erhöht die hygienische Sicherheit**
 - wirkt aber nicht gegen dauerhafte Einnistung von Krankheitserregern nach Kontaminationen
- **Mikrobiologische Stabilität sollte bei jedem WVU geprüft werden**
 - Untersuchung des Trinkwassers und der eingesetzten Materialien im Netz in Bezug auf erhöhte Temperaturen

Handlungsempfehlungen (2)

Betrieb und Instandhaltung von TW-Verteilungssystemen

■ Erwärmung des Trinkwassers vermeiden

- Ausreichende Fließgeschwindigkeit sicherstellen (Durchmesser, Vermaschung)
- Stagnationszonen identifizieren und umbauen (Endstränge, Vermaschung)
- Oberflächennahe Leitungen in versiegelten Gebieten sind besonders gefährdet

■ Instandhaltung des Netzes senkt die Verwundbarkeit

- Auswechslung spröder Rohrwerkstoffe (vor allem in bindigen Böden)

■ Risiko- und Potenzialanalyse für jedes VS-System

- Netzstruktur, -komponenten, -betrieb und Wasserbeschaffenheit

Anpassungspfad: dynaklim-Roadmap

dynaklim-Roadmap (2013): Handlungsfelder Klimaanpassung Wasserversorgung

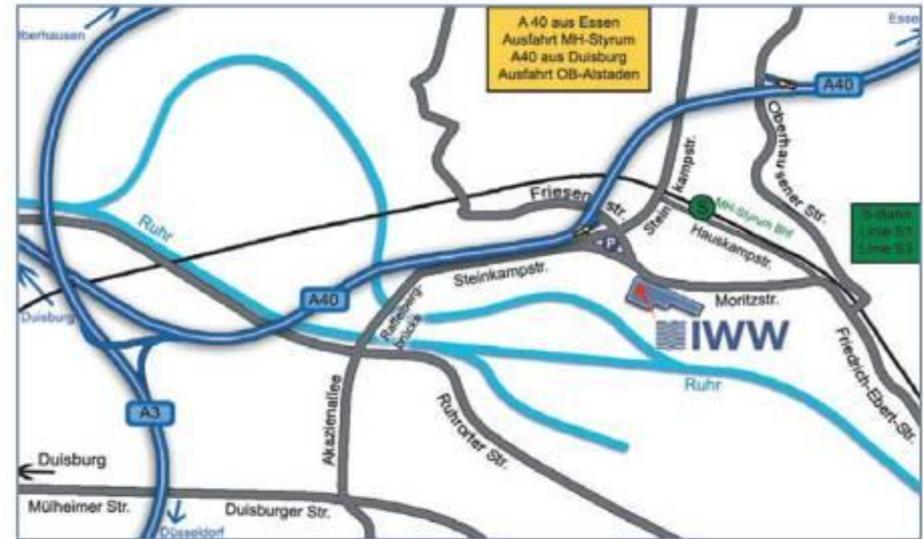




IWW Zentrum Wasser
Dr.-Ing. Wolf Merkel
Technischer Geschäftsführer
Tel. 0208 40303-100
Mail w.merkel@iww-online.de

Moritzstraße 26
45476 Mülheim an der Ruhr

Telefon | +49 (0)208-4 03 03-0
Fax | +49 (0)208-4 03 03-80
E-Mail | info@iww-online.de
Web | www.iww-online.de



IWW RHEINISCH-WESTFÄLISCHES INSTITUT FÜR
WASSERFORSCHUNG GEMEINNÜTZIGE GMBH

Institut an der

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

 Mitglied
im DVGW-
Institutsverbund

