

Hydraulische Kanalnetzmodelle als Teil eines integrierten Modellierungsansatzes zur Überwachung lokaler Dynamiken von Infektionskrankheiten

Dr. Andreas F. Hofmann

Garching, 09. Oktober 2023

Dr. Andreas F. Hofmann

tandler.com GmbH

Am Griesberg 25
D-84172 Buch am Erlbach
Tel +49 8709 94040

andreas.hofmann@tandler.com
www.tandler.com





- tandler.com: eigentlich *Softwarehersteller* in der **Siedlungswasserwirtschaft (++SYSTEMS)**.
- Titel des Vortrags: **Infektionskrankheiten?**
- *Hydraulische Kanalnetz- & Stofftransport-Modellierung und Simulation*, eingesetzt in einem etwas **anderen Kontext** als sonst üblich.
- Kontext: „**Nicht-Pharmazeutische-Intervention (NPI)**“ beim Ausbruch schwerer Infektionskrankheiten
- „Fancy Wording“ für Dinge, die uns allen aus der „Corona-Zeit“ noch schmerzlich bekannt sind:
 - **Lockdown**
 - **Kontaktbeschränkungen**
 - **Schulschließungen**, u.v.m.
- **NPI nicht unproblematisch: COVID-19:**
 - Wirtschaftlicher Schaden
 - Unmut in der Bevölkerung
 - Probleme durch Homeschooling, etc.



++SYSTEMS

- **War jedoch nötig!** Aber: flächendeckend?
- Verbesserungsansätze: **BMBF-Projekt INSIDe!**





- **INSIDe** steht für „**IN**tegrative modeling of the spread of **S**erious **I**nfectious **D**iseases“
- Ziel: Entwicklung einer **multidisziplinären Modellierungsmethodik** für ein **Frühwarnsystem** für den Ausbruch von schweren Infektionskrankheiten
- Frühwarnsystem: **hochaufgelöste Ortsinformation** (Häuserblöcke, Schulen, einzelne öffentliche Gebäude, etc.) und **zeitliche Dynamik** eines Ausbruchs
- Resultat: Möglichkeit **NPI punktgenau** (örtlich und zeitlich) einzusetzen - **Skalpell statt Holzhammer!**
- Dieses Projekt wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031L0297D (tandler.com GmbH) gefördert.
- tandler.com seit ca. 1,5 Jahren beteiligt
- Weitere Partner:



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

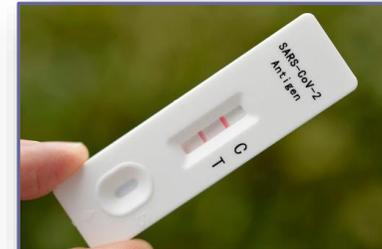




Infektions-Frühwarnsystem: Grundlegende Idee

Rechtzeitige, gezielte Nicht-Pharmazeutische-Intervention (NPI), dämmt das Ausbreiten von Infektionskrankheiten ein und minimiert die Krankheitslast der Bevölkerung.

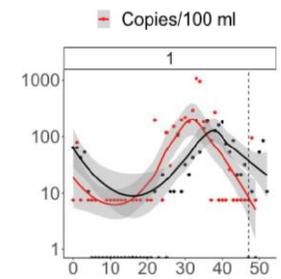
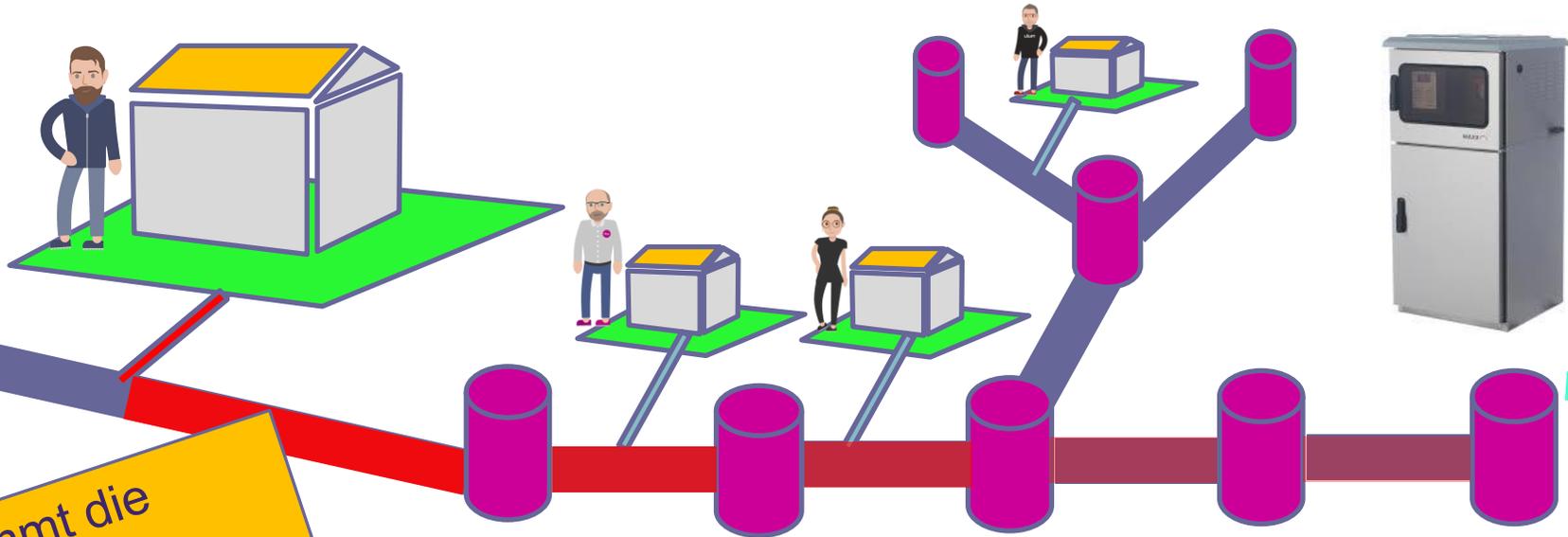
- **Rechtzeitig:** *WANN* findet ein Ausbruch statt?
- **Gezielt:** *WO* findet ein Ausbruch statt? (Häuserblock-scharf!)
- **„Realtime“-Testen?** Nicht realistisch praktikabel!
- **ABER:** Für Krankheiten, die sich in Ausscheidungen finden: **Informationen aus Abwasser!**
- Konzentrationsmessungen von Viruspartikeln im Abwasser ausreichend? **NEIN**, weil:
 - **Nicht jeder Hausanschluss** kann individuell beprobt werden.
 - Kanalsystem ist ein **komplexes Netzwerk**: Mögliche Probennamestellen sind durch viele Gebäude beeinflusst.
 - **Fließzeiten** im Kanalnetz sind relevant.
 - **Regen, industrielle Einleiter, Verbrauchs-Ganglinien** etc. sind relevant.
 - **Abbau** von Virusfragmenten im Kanalsystem kann relevant sein.
- **Lösung:** Warum? Wie genau?
 - „Regelmäßige“ hydraulische Kanalnetzsimulation mit Stofftransport
 - in Kombination mit „kontinuierlicher“ Messung/Beprobung an ausgewählten Stellen.



Messen alleine lässt **keine** ausreichenden Rückschlüsse auf **WANN** und **WO** zu!

„Regelmäßige“ hydraulische Kanalnetzsimulation mit Stofftransport in Kombination mit „kontinuierlicher“ Messung/Beprobung an ausgewählten Stellen.

Annahme:
Andreas ist
infiziert

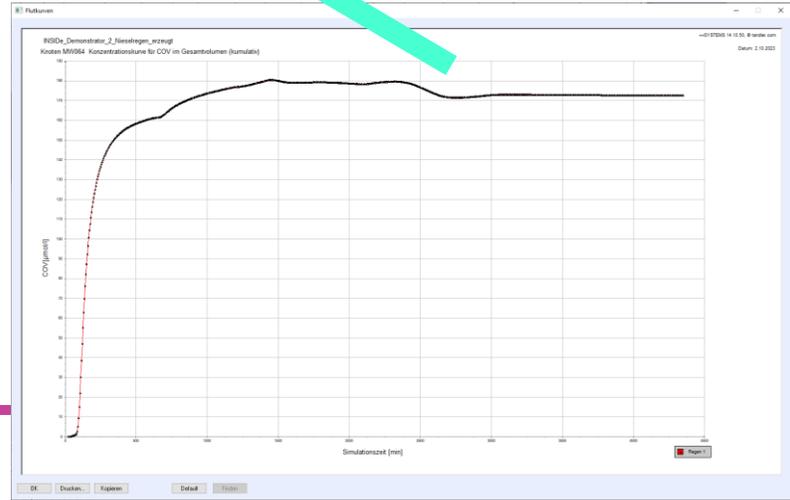


Konzentrations-
Messpunkte eines
Probenehmers



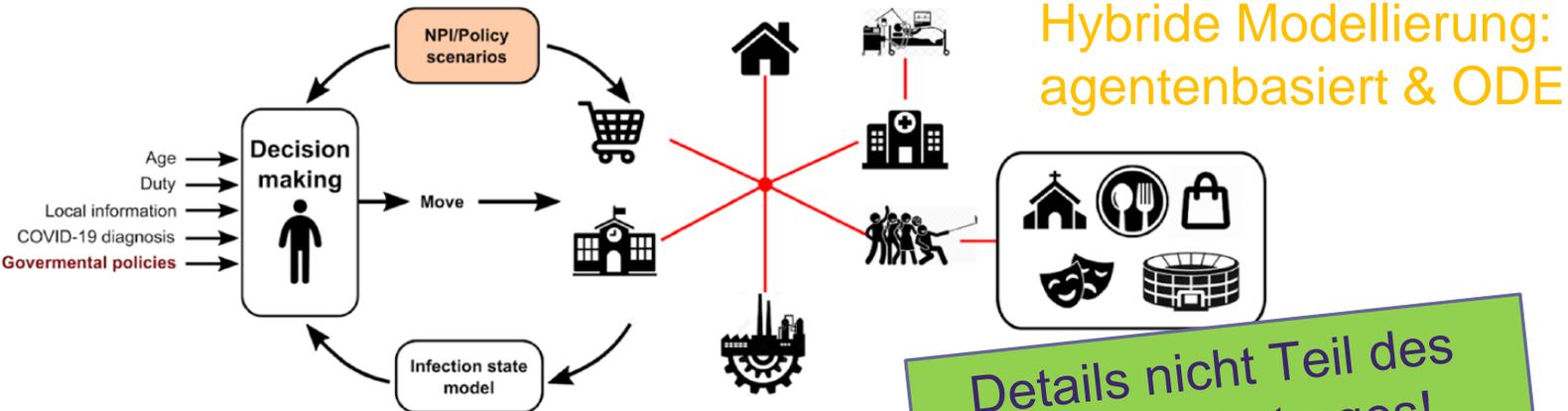
Konzentrationsganglinie
aus hydraulischer
Kanalnetzsimulation

Übereinstimmung?
=> Annahme plausibel!

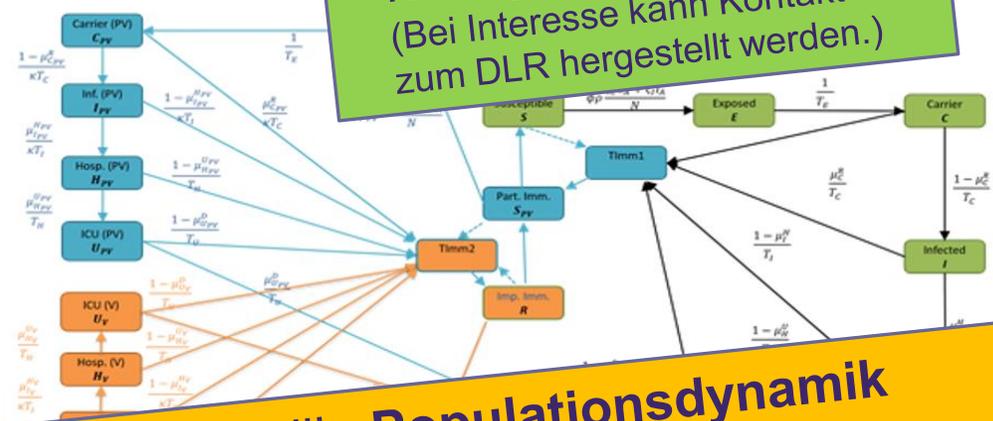


(Bevölkerungsdynamik & Infektion)

Hybride Modellierung: agentenbasiert & ODE



Details nicht Teil des heutigen Vortrages!
(Bei Interesse kann Kontakt zum DLR hergestellt werden.)



Bildet MEmilio Populationsdynamik und Infektionssituation der **realen Welt** richtig ab? => **INSIDe Workflow!**

- **Bevölkerungstechnisches Modell: Agentenbasierte Ansatz:** virtuelle Einwohner bewegen sich im Modell (mögliche Aufenthaltsorte finden sich als Flächen im Kanalnetzmodell wieder).
- **Transmissionsmodell: ODE (Differentialgleichungs-) Ansatz:** virtuelle Einwohner können sich anstecken und durchlaufen **verschiedene Zustände einer Infektion** (S, E, I, etc.)
- Je nach Aufenthaltsort und Infektionszustand generieren virtuelle Einwohner unterschiedliche **Virus-Einträge ins Kanalsystem.**



Epidemiologisches Transmissionsmodell (MEmilio)

Das **DLR-Modell** wird mit **initialien Annahmen** (educated guesses) von **Populationsdynamik** und **Infektionssituation** gestartet.

Finales Ergebnis
des iterativen
Workflows:

*Plausible momentane
Infektionssituation:
Frühwarnung!*

Die INSIDE-Plattform leitet den Output des DLR-Modells an das **Kanalnetzmodell (++SYSTEMS)** weiter.

Die Schritte 1 bis 5 werden automatisch **iterativ wiederholt**, bis die Ergebnisse des Kanalnetzmodells ausreichend genug mit den gemessenen Daten übereinstimmen => **Damit ist ein Durchgang des "Workflows" abgeschlossen.**

Epidemiologisches
Transmissionsmodell
(DLR)

INSIDE Plattform
(UBO)

Kanalnetzmodell
(TAN)

Konzentrations-
messungen im Kanal
(KUM)

(INSIDE Plattform Workflow)

Ergebnisse

2

4

5

Ergebnisse

- Ergebnisse aus dem **Kanalnetzmodell** werden mit **gemessenen** Daten verglichen
- Die INSIDE-Plattform verarbeitet die Unterschiede und leitet **Veränderungen** der **DLR-Modell-Annahmen** ab.



Nutzbares Frühwarnsystem?

„Regelmäßige“ hydraulische Kanalnetzsimulation mit Stofftransport in Kombination mit „kontinuierlicher“ Messung/Beprobung an ausgewählten Stellen.

Vorraussetzungen für das tatsächliche Implementieren eines Frühwarnsystems:

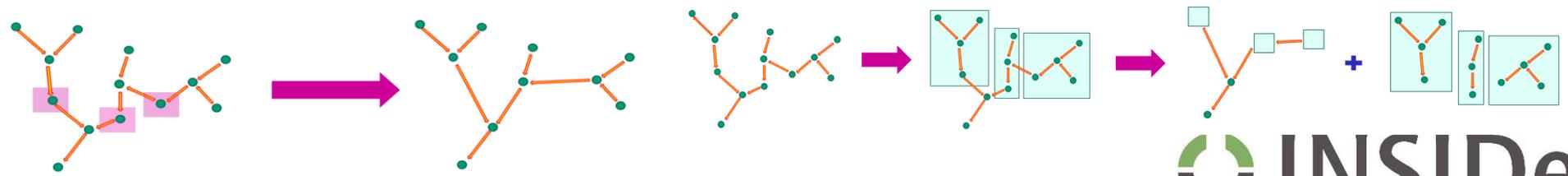
- Mindestens **tägliche** Durchführung des „**INSIDe Plattform Workflows**“.
- Mindestens **tägliche reale Samples** an neuralgischen Probenahmestellen.

Realistisch: Aufgabe für die Zukunft!

Mindestens tägliche Durchführung des INSIDe Plattform Workflows:

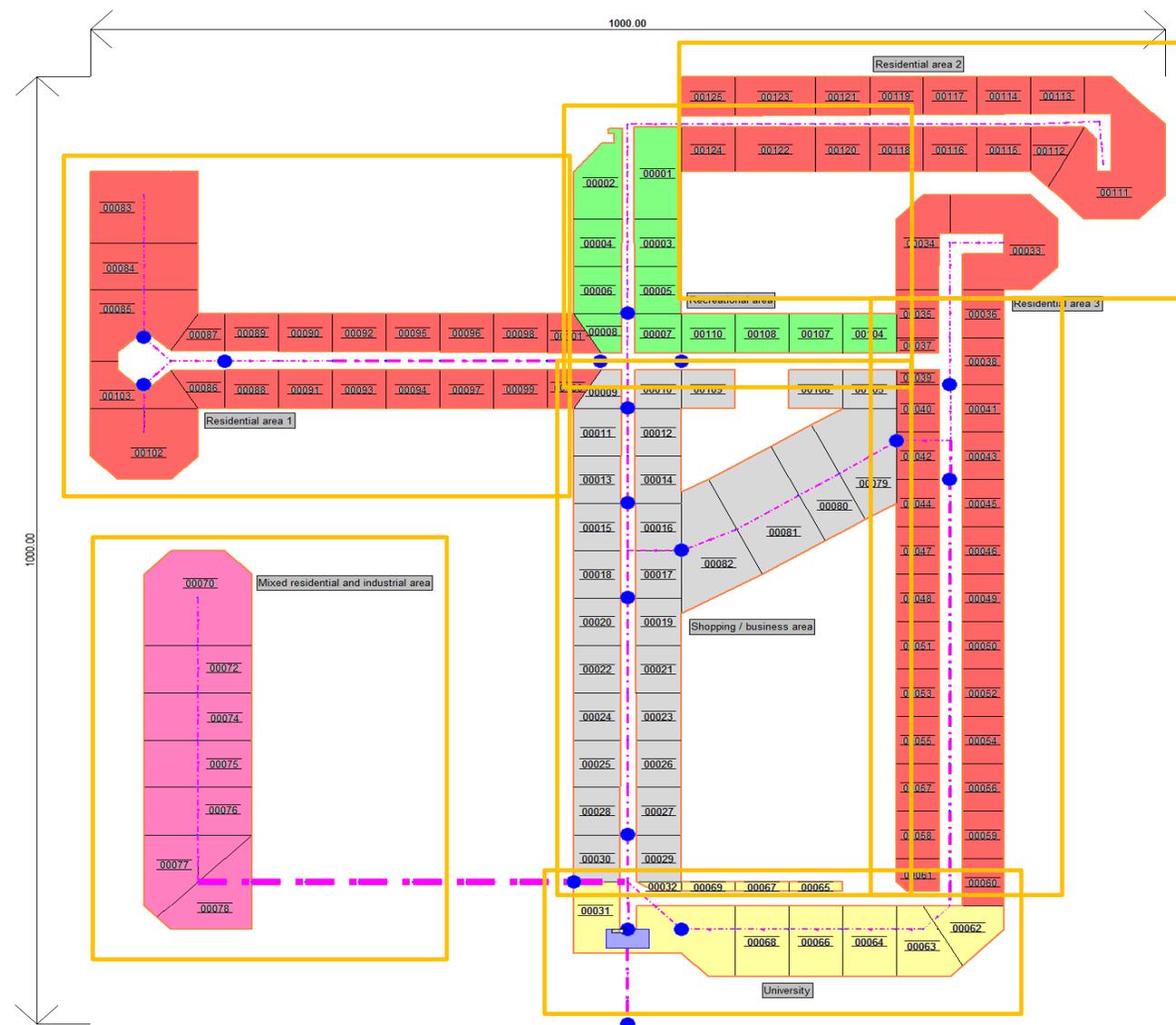
- Laufzeiten von Simulationen? Verfügbarkeit von Kanalnetzdaten?
- => es könnte sinnvoll sein, die Komplexität von Kanalnetzmodellen zu reduzieren!

Wird im Rahmen von INSIDe untersucht!

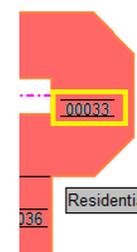


Zunächst: „proof of concept“: **INSIDe-Demonstrator-Modell**



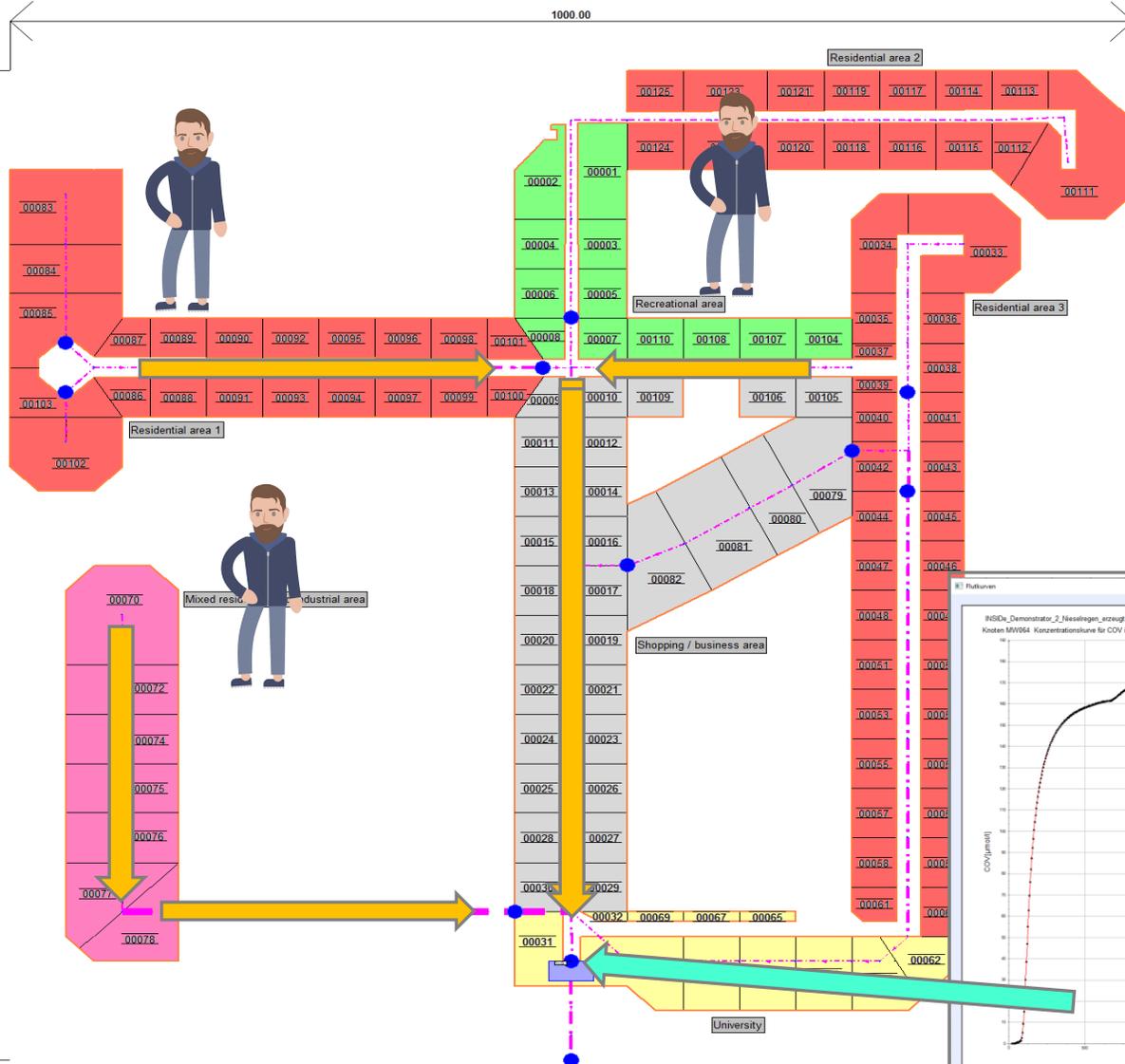


- **Artifizieller Stadtbezirk mit Wohn- und Mischgebieten,**
- sowie Möglichkeiten zur *Freizeitgestaltung,* zum *Einkaufen* und einer *Universität.*
- Abgebildet ist das Kanalnetzmodell, Das **bevölkerungstechnische Modell** *basiert auf* den Flächen des **Kanalnetzmodells,**
- unterteilt diese aber noch in **Untereinheiten** (z.B. einzelne Wohnungen in einem Gebäude).

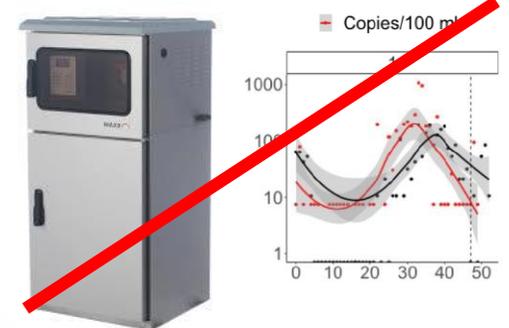
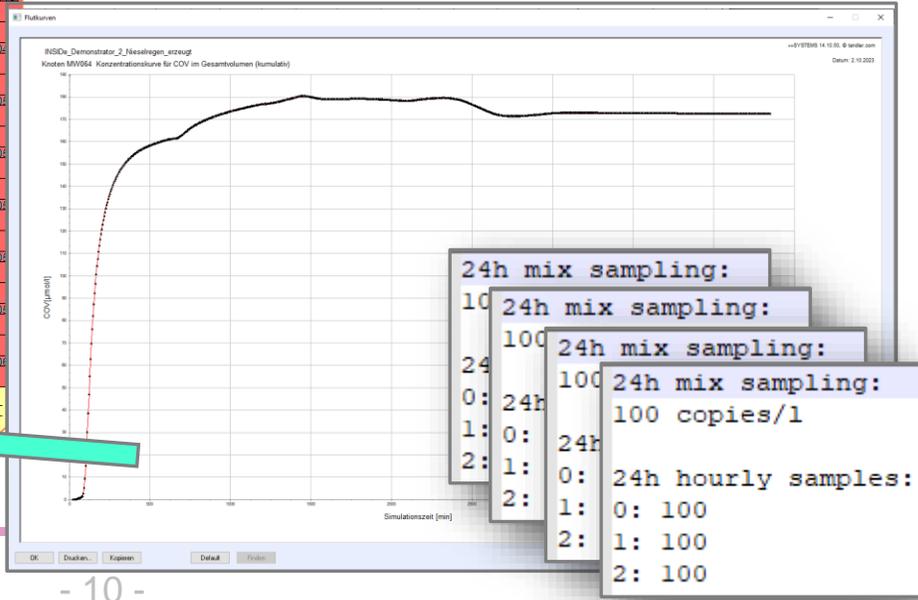


id	inhabitants	type
00001	0	recreational
00002	0	recreational
00028	0	shopping_business
00029	0	shopping_business
00030	0	shopping_business
00031	0	university
00032	0	university
00033	35	residential_3
00034	20	residential_3
00035	10	residential_3
00036	10	residential_3

INSIDe-Demonstrator-Modell: virtuelle Samples



- Bevölkerungstechnisch-/epidemiologisches Modell: **infiziert Andreas** und **propagiert ihn über die Flächen** des Kanalnetzes.
- Reaktions-Transport-Modellierung: **propagiert Viruslast durch Kanalnetz.**
- An Probenahmestellen (blaue Punkte): hochaufgelöste **Konzentrations-Durchgangskurven** werden simuliert.
- Aus Kurven werden „in-silico“ **Samples** erstellt (24 h Mischproben, stündliche Einzelproben)



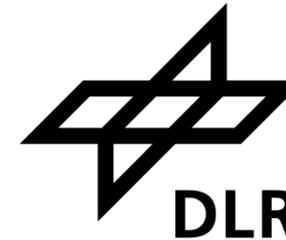


- Im Rahmen von **Simulationsstudien** wird nun eine **Sensitivitätsanalyse** durchgeführt: der Einfluss einzelner **Modelleigenschaften, Annahmen** und **Vorgehensweisen** auf diese in-silico Proben wird untersucht, um die entsprechende Relevanz für das Gesamtverfahren abzuschätzen.
- Unter anderem werden im Rahmen der Simulationsstudie folgende **Forschungsfragen** gestellt:
 - Ist der **Abbau der Virusfragmente** (Reaktion im Kanalnetz) für das Vorgehen relevant?
 - Welchen Einfluss haben **Regenereignisse** während der Simulationszeit? (Untersucht werden die Szenarien Trockenwetter, leichter Dauerregen, vereinzelte stärkere Regenereignisse)
 - Ist ein geändertes **Wasserverbrauchsverhalten** (Menge, Uhrzeit) der Einwohner bei Infektion relevant?
 - Sind 24 h **Mischproben oder Einzelproben** (und zu welchen Uhrzeiten) für das angedachte Vorgehen geeigneter?
 - Welchen Einfluss haben unterschiedliche **Ausscheideverhalten** von Agenten / Einwohnern („shedding curves“)?
 - Welchen Einfluss hat die **Infektiosität eines Virus** (z.B. Wildvariante gegenüber neuen Virustypen)?
 - Welchen Einfluss haben verschiedene modellweit unterschiedliche **Infektionsdynamiken** (steigende / sinkende Fallzahlen) auf das angedachte Gesamtverfahren?

Work in Progress! Ergebnisse bei nächstmöglicher Gelegenheit!

GEFÖRDERT VOM

Die tandler.com GmbH bezieht für das Projekt INSIDe Fördermittel des Bundes. Dieses Projekt wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031L0297D (tandler.com GmbH) gefördert.



Korrespondenz:

Dr. Andreas F. Hofmann
Am Griesberg 25-27, D-84172 Buch am Erlbach
+49 (0) 8709 940 47
andreas.hofmann@tandler.com

