

Abschließender Sachstandsbericht  
Leibniz-Wettbewerb

**Spread of antibiotic resistance in an agrarian landscape  
(SOARiAL)**

---

Antragsnummer: **K214/2016**

---

**Berichtszeitraum:** 01.02.2017-31.05.2021

**Federführendes Leibniz-Institut:**

Leibniz-Institut DSMZ - Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH

**Projektleiter/in:**

Prof. Dr. Ulrich Nübel

Email: [ulrich.nuebel@dsmz.de](mailto:ulrich.nuebel@dsmz.de)

Tel.: 0531-2616-390

**Inhalt**

1.	Zielerreichung und Umsetzung der Meilensteine.....	2
2.	Aktivitäten und Hindernisse .....	3
3.	Ergebnisse und Erfolge.....	3
4.	Chancengleichheit .....	4
5.	Qualitätssicherung.....	5
6.	Zusätzliche eigene Ressourcen .....	5
7.	Strukturen und Kooperation.....	5
8.	Ausblick .....	6

## 1. Zielerreichung und Umsetzung der Meilensteine

Alle im Antrag genannten Ziele wurden erreicht. Der Arbeitsplan des Projekts war in fünf Arbeitspakete eingeteilt, die alle erfolgreich durchgeführt und abgeschlossen wurden (WP1 Dünger-Management und Emissionsminderung, WP2 Boden- und Staub-Untersuchungen, WP3 Windkanal-Versuche, WP4 Mikrobiologie und Molekularbiologie, WP5 Modellierung). 'Meilensteine' waren darüber hinaus nicht definiert worden.

Die übergeordnete Forschungsfrage des SOARiAL-Projekts war, in welchem Ausmaß Antibiotika-resistente, pathogene Bakterien aus gedüngten, landwirtschaftlichen Flächen ausgetragen werden. Um dies zu untersuchen, wurden umfangreiche Feldversuche und Windkanalexperimente mit verschiedenen Böden und unterschiedlichen Düngern aus Geflügel- und Schweinemastanlagen durchgeführt. Durch Kooperationen mit Landwirten war es uns möglich, in industriellen Geflügel-Mastanlagen repräsentative Proben von Hühnerkot zu sammeln. In diesen Proben wurden diverse Stämme des Darmbakteriums *Escherichia coli* nachgewiesen, die durch die Bildung von Beta-Lactamasen mit erweitertem Wirkungsspektrum (ESBL) resistent gegen die meisten Beta-Lactam-Antibiotika (einschließlich Cephalosporinen der dritten Generation) waren (Siller *et al.* 2020). Die Konzentrationen lebensfähiger, ESBL-bildender *E. coli* lagen zumeist bei  $10^4$ - $10^5$  Koloniebildenden Einheiten (KBE) pro Gramm frischem Hühnerkot (Siller *et al.* 2021). Aufgrund des geringen Wassergehalts im Hühnermist kam es während der Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen zu starker Staubentwicklung (Kabelitz *et al.* 2020, Kabelitz *et al.* 2021, Münch *et al.* 2020), und auch nach der Düngung konnte ein Austrag von Mist-Bestandteilen durch Winderosion gemessen werden (Münch *et al.* 2022, Thiel *et al.* 2020). Interessanterweise konnten im Staub jedoch keine lebensfähigen, ESBL-bildenden *E. coli* nachgewiesen werden (Siller *et al.* 2021, Thiel *et al.* 2020). Daraufhin initiierte Lagerungsversuche zeigten, dass ESBL-bildende *E. coli* im Hühnermist sehr rasch abstarben und bereits innerhalb von 1-3 Tagen nicht mehr nachweisbar waren (Siller *et al.* 2020). Experimente in der Aerosolkammer der FU Berlin belegten darüber hinaus, dass die ESBL-bildenden *E. coli* auch den aerosolisierten Zustand nicht lange überlebten (Siller *et al.* 2021). Durch diese Absterbe-Dynamiken konnte der fehlende Nachweis im Düngerstaub gut erklärt werden. Im Unterschied zu ESBL-bildenden *E. coli* wurden Vancomycin-resistente Enterokokken und Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* in Kotproben nur in Einzelfällen nachgewiesen und im Staub überhaupt nicht. Weitere pathogene Bakterien wurden in großer Zahl gefunden, allerdings wiesen diese keine relevanten Antibiotika-Resistenzen auf. Besonders erwähnenswert sind *Enterococcus faecium* (mit mehr als  $10^6$  KBE pro Gramm Mist), der zahlreich im Staub nachgewiesen werden konnte und der bis zu sieben Wochen im gedüngten Boden überlebte (Thiel *et al.* 2020), und *Clostridioides difficile*, der noch mehr als zwei Jahre nach der Düngung im Boden detektierbar war (Frentrup *et al.* 2021). Durch die Sequenzierung der Bakteriengenome konnten wir nachweisen, dass die Krankheitserreger im gedüngten Boden tatsächlich mit denen im Dünger und in den Geflügelställen identisch waren, und nach der Dünger-Ausbringung unterschiedlich lange überlebten. In umfangreichen Windkanalversuchen konnten wir zudem erstmals die Abhängigkeit der bakteriellen Emissionen aus Böden von der Windgeschwindigkeit messen, und die Austräge auf größere Flächen und längere Zeiträume hochrechnen (Thiel *et al.* 2020). Für die Berechnung des Staubtransports wurde ein verbessertes, Trajektorienbasiertes Modell entwickelt, das turbulente Strömungsbedingungen in der Grenzschicht der Atmosphäre berücksichtigt (Faust *et al.* 2021). Damit konnte gezeigt werden, dass Staubpartikel, die bei unseren Feldversuchen emittiert wurden, in bis zu 2.500 m Höhe aufstiegen und dass etwa 10 % der Partikel über 300 km weit transportiert wurden (Thiel *et al.* 2020).

Um Möglichkeiten zur Reduktion der Emissionen zu ermitteln, wurde Geflügelmist experimentell getrocknet und kompostiert, und dann im Windkanal und im Feldversuch mit frischem Mist verglichen. Dabei nahm die Emissionsneigung des Mists mit zunehmendem Trockensubstanz-Gehalt stark zu (Kabelitz *et al.* 2020, Münch *et al.* 2020). Gleichzeitig

konnte durch Trocknung die Konzentration an pathogenen Keimen reduziert werden. Somit konnten optimale Trockensubstanz-Gehalte für Geflügelmist und Schweinegülle empfohlen werden, um Austräge von Staub und Pathogenen gleichzeitig zu minimieren (Kabelitz *et al.* 2020, Kabelitz *et al.* 2021).

## 2. Aktivitäten und Hindernisse

Alle durchgeführten Arbeiten wurden bereits im Abschnitt 1 ('Zielerreichung und Umsetzung ...') beschrieben.

Das extrem verregnete Frühjahr 2017 stellte uns zunächst vor Schwierigkeiten bei der Umsetzung der Feldversuche, denn die gedüngten Böden waren kaum einmal trocken genug, um Winderosion und messbare Staub-Emissionen zu ermöglichen. Wir wichen deshalb verstärkt auf Windkanal-Experimente aus, in denen die Winderosion unter kontrollierten Bedingungen simuliert werden konnte. Dadurch war der Erfolg des Projekts zu keiner Zeit gefährdet. Ein weiterer Feldversuch (mit Schweinegülle) wurde im Frühjahr 2019 durchgeführt, in dessen Folge aufgrund eines trockenen Bodens und starken Windaufkommens natürliche Staubemissionen erfolgreich unter Feld-Bedingungen gemessen werden konnten.

Die Personalfindung und Besetzung der aus Projekt-Mitteln finanzierten Personalstellen beanspruchte teilweise mehr Zeit als ursprünglich geplant. Zudem kam es an zwei Partner-Instituten (ATB, DSMZ) im späteren Projektverlauf zu Verzögerungen durch Personalwechsel. Daher wurde die Projektlaufzeit zunächst bis zum 31.01.2021 kostenneutral verlängert. Aufgrund von Verzögerungen bei der administrativen Abrechnung und Berichterstellung wurde die Projektlaufzeit dann noch einmal bis zum 31.05.2021 verlängert.

## 3. Ergebnisse und Erfolge

### **Publikationen:**

Die Ergebnisse des SOARiAL-Projekts wurden bisher in acht Publikationen in begutachteten, internationalen wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht. Ein weiteres Manuskript wurde eingereicht und wird derzeit begutachtet. Darüber hinaus wurden die SOARiAL-Ergebnisse in 18 Vorträgen und 12 Postern auf wissenschaftlichen Tagungen vorgestellt.

Im Rahmen von SOARiAL wurden drei Dissertationen angefertigt und die Promotionen werden voraussichtlich in 2021 abgeschlossen:

- Steffen Münch, Universität Potsdam, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie - Geoökologie, Potsdam. Disputation am 13.12.2021.
- Paul Siller, Freie Universität Berlin, Institut für Tier- und Umwelthygiene, Berlin. Abschluss voraussichtlich im Dezember 2021.
- Matthias Faust, Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Leipzig (Abschluss voraussichtlich im Januar 2022.)

### **Wissenschaftliche Veranstaltungen:**

- SOARiAL-Kickoff-Meeting 07.02.2017
- SOARiAL-Arbeitstreffen, 20.07.2017, Müncheberg
- SOARiAL-Arbeitstreffen, 06.12.2017, Braunschweig.
- SOARiAL-Arbeitstreffen, 19.12.2018, Braunschweig.
- ATB Training School "Measuring and modelling gaseous emissions from livestock systems", 17.-20.09.2019, Potsdam.
- SOARiAL-Arbeitstreffen, 27.02.2020, Braunschweig.

### Presse/Medien:

- Informationen auf den Internet-Seiten der Partner-Institute
- Pressemitteilung "Projektaufakt: Verbreitung von antibiotikaresistenten Keimen in der Landwirtschaft", ZALF, 20.02.2017.
- Radio-Interview bei Deutschlandfunk „Forschung aktuell“: „Antibiotika-Rückstände und Keime: Trocknung von Gülle wäre sinnvoll“, ATB, 21.10.2020, [https://ondemand-mp3.dradio.de/file/dradio/2020/10/21/antibiotika\\_rueckstaende\\_und\\_keime\\_trocknung\\_von\\_guelle\\_dlf\\_20201021\\_1645\\_89b86264.mp3](https://ondemand-mp3.dradio.de/file/dradio/2020/10/21/antibiotika_rueckstaende_und_keime_trocknung_von_guelle_dlf_20201021_1645_89b86264.mp3)
- Pressemitteilung „Der Miststreuer - ein Superspreader?“, ATB, 15.07.2020; <https://www.atb-potsdam.de/de/aktuelles-und-presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen-detailseite/der-miststreuer-ein-superspreader>
- Zeitungsartikel „Landwirtschaft & Feinstaub: Da liegt was in der Luft“, Die Rheinpfalz, 03.10.2020; [https://www.rheinpfalz.de/wissen\\_artikel,-landwirtschaft-feinstaub-da-liegt-was-in-der-luft-\\_arid,5116995.html?reduced=true](https://www.rheinpfalz.de/wissen_artikel,-landwirtschaft-feinstaub-da-liegt-was-in-der-luft-_arid,5116995.html?reduced=true)
- Interview und BLOG-Eintrag "Vom Winde verweht": <https://www.quer-feld-ein.blog/finden/vom-winde-verweht/>, 10.03.2021

### Drittmittelinwerbung:

Die in SOARIAL gewonnenen Erfahrungen ermöglichten uns die erfolgreiche Einwerbung der folgenden Drittmittel-Projekte:

- "MEDICow: sensorgesteuertes Risikobewertungsmodell für Mastitis auf ON-FARM-Ebene für Milchkühe", gefördert durch BMEL/BLE, Zuwendungsempfänger ATB, FU, und DSMZ, in Kooperation mit LKV und TEAGASC (Irland).
- "A risk index for health effects of mineral dust and associated microbes" (DUSTRISK), gefördert durch die Leibniz-Gemeinschaft, Juni 2020 - Mai 2024 (U. Nübel; Zuwendungsempfänger unter anderen DSMZ, koordiniert durch TROPOS).
- "Infections in an urbanizing world - humans, animals, environments", Leibniz-Forschungsverbund INFECTIONS, August 2021 - Juli 2025 (U. Nübel, T. Amon, T. Kabelitz; Zuwendungsempfänger unter anderen DSMZ und ATB, koordiniert durch Forschungszentrum Borstel)
- "Entwicklung stufenübergreifender Reduktionsmaßnahmen für antibiotikaresistente Erreger beim Mastgeflügel (EsRAM)", Teilprojekt 5 - Arbeitspaket AP 2 "Entwicklung von Verfahren zur Reduktion fäkaler Emissionen von ESBL-/ AmpC-bildenden Enterobakterien" gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2016-2019 (T. Amon, Zuwendungsempfänger ATB).

## 4. Chancengleichheit

Entsprechend der Gleichstellungsstandards der Leibniz-Gemeinschaft wurde stets darauf geachtet, Diversität zu fördern und allen Menschen prinzipiell gleiche Chancen zu gewähren, einschließlich z.B. Frauen, Eltern, Minderheiten und Schwerbehinderten. In Abstimmung mit den Gleichstellungsbeauftragten der beteiligten Institutionen wurden bei Einstellungen von Personal Frauen, Minderheiten und Schwerbehinderte bei gleicher fachlicher Eignung bevorzugt. Von den insgesamt sechs eingestellten Personen waren drei männlich (Siller, Münch, Faust) und drei weiblich (Thiel, Kabelitz, Behrens). Die Promovierenden waren in lokale Graduierten-Programme integriert.

An den beteiligten Leibniz-Instituten und der FU Berlin wird das Familien-gerechte Personal-Management durch das Audit *Beruf und Familie* beziehungsweise durch das äquivalente Audit *Familiengerechte Hochschule* überprüft und zertifiziert ([www.berufundfamilie.de](http://www.berufundfamilie.de)).

## 5. Qualitätssicherung

An allen beteiligten Instituten gelten die Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis entsprechend der Leitlinie der Leibniz-Gemeinschaft und/oder dem Kodex der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Weitere Einzelheiten wurden in einem Kooperationsvertrag zwischen den beteiligten Institutionen geregelt.

Alle an SOARiAL beteiligten Wissenschaftler waren in ständigem Austausch über den Fortgang des Projekts und gemeinsame Publikationen wurden rechtzeitig untereinander abgestimmt. Die wissenschaftlichen Publikationen aus SOARiAL erfolgten in sorgfältig ausgewählten, begutachteten, internationalen Fachzeitschriften (peer-review). Diese Publikationen sind frei verfügbar (Open Access), bis auf Münch et al. 2020.

## 6. Zusätzliche eigene Ressourcen

Die folgenden 'in-kind'-Leistungen wurden im Rahmen von SOARiAL erbracht:

### **Leibniz-Institut DSMZ:**

- Laborantin (Vera Junker, Entgeltgruppe E9), 9 Personenmonate
- Sachmittel für zusätzliche DNA-Sequenzierungen, 10.000 €
- Nutzung von Großgeräten im Labor (z.B. Sequenzierer)

### **ATB:**

- Laborant (Jonas Nekat, E8), 3 Personenmonate
- Wissenschaftler (Dr. Christian Ammon, E13), 3 Personenmonate
- Techniker (Ulrich Stollberg, E9), 4 Personenmonate
- ATB-Expertise (Dr. Susanne Theuerl, Dr. Antje Fröhling) und -Geräte (Drohne mit Luftbildkamera) zur Unterstützung der Feldversuche, 2 Personenmonate
- Sachmittel für zusätzliche Beschaffung und Aufbereitung organischer Dünger ca. 5.000 €

### **ZALF:**

- Kfz-Kosten, ca. 1.000 €.
- Wartung des Windkanals

### **TROPOS:**

- Wissenschaftler (Entgeltgruppe E13), 3 Personenmonate
- Reisekosten 444 EUR

### **FU:**

- regelmäßige Wartungen/Reparaturen an der Aerosolkammer, welche für das Projekt intensiv über einen Zeitraum von 9 Monaten genutzt wurde.
- Technische Assistentinnen (E9), 500 Stunden
- Nutzung des Instituts-Buses für Ausfahrten, 4.000 km

## 7. Strukturen und Kooperation

Die Kooperation zwischen den Partnern erfolgte wie geplant und im Antrag dargestellt.

Zusätzlich wurde zur Bewertung der Staub-Emissionen mit Dr. André Aarnink, Universität Wageningen kooperiert, einem ausgewiesenen Experten für Emissionen aus der Landwirtschaft (Kabelitz *et al.* 2020, Kabelitz *et al.* 2021).

## 8. Ausblick

Das Konzept One Health, in dem Wechselwirkungen zwischen der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt betrachtet werden, und die zunehmende Antibiotikaresistenz bei wichtigen Krankheitserregern werden in absehbarer Zukunft wichtige Forschungsthemen bleiben. Beispielsweise kann die Bedeutung des Vorkommens antibiotikaresistenter Keime in der Umwelt für humane Infektionen derzeit kaum eingeschätzt werden. In unserem Projekt wurde unter anderem deutlich, dass die Überlebensfähigkeit aerosolisierter Mikroorganismen in der Atmosphäre bisher nur unzureichend untersucht ist. Zudem werden wirtschaftlich sinnvolle Minderungsmaßnahmen für Staubemissionen aus der Landwirtschaft dringend benötigt, auch unabhängig von einer mikrobiologischen Beladung des Staubs. Ausbreitungsmodelle für Aerosolpartikel ermöglichen Vorhersagen ihrer atmosphärischen Verbreitung in Raum und Zeit.

### Literatur:

Faust M., Wolke R., Münch S., Funk R., Schepanski K. 2021. A new Lagrangian in-time particle simulation module (Itpas v1) for atmospheric particle dispersion. *Geoscientific Model Development* 14:2205-2220.

Frentrup M., Thiel N., Junker V., Behrens W., Münch S., Siller P., Kabelitz T., Faust M., Indra A., Baumgartner S., Schepanski K., Amon B., Roesler U., Funk R., Nübel U. 2021. Agricultural fertilization with poultry manure results in persistent environmental contamination with the pathogen *Clostridioides difficile*. *Environmental Microbiology*.doi: 10.1111/1462-2920.15601.

Kabelitz T., Ammon C., Funk R., Münch S., Biniash O., Nübel U., Thiel N., Roesler U., Siller P., Amon B., Aarnink A. J. A., Amon T. 2020. Functional relationship of particulate matter (PM) emissions, animal species, and moisture content during manure application. *Environ Int.*143:105577.

Kabelitz T., Biniash O., Ammon C., Nübel U., Thiel N., Janke D., Swaminathan S., Funk R., Münch S., Roesler U., Siller P., Amon B., Aarnink A., Amon T. 2021. Particulate matter emissions during field application of poultry manure - the influence of moisture content and treatment. *Science of the Total Environment*.780:146652.

Münch S., Papke N., Leue M., Faust M., Schepanski K., Siller P., Roesler U., Nübel U., Kabelitz T., Amon T., Funk R. 2022. Differences in the sediment composition of wind eroded sandy soils before and after fertilization with poultry manure. *Soil and Tillage Research* 215:105205.

Münch S., Papke N., Thiel N., Nübel U., Siller P., Roesler U., Biniash O., Funk R., Amon T. 2020. Effects of farmyard manure application on dust emissions from arable soils. *Atmospheric Pollution Research*.11:1610-1624.

Siller P., Daehre K., Rosen K., Munch S., Bartel A., Funk R., Nübel U., Amon T., Roesler U. 2021. Low airborne tenacity and spread of ESBL-/AmpC-producing *Escherichia coli* from fertilized soil by wind erosion. *Environmental Microbiology*.doi: 10.1111/1462-2920.15437.

Siller P., Daehre K., Thiel N., Nübel U., Roesler U. 2020. Impact of short-term storage on the quantity of extended-spectrum beta-lactamase-producing *Escherichia coli* in broiler litter under practical conditions. *Poult Sci*.99:2125-2135.

Thiel N., Münch S., Behrens W., Junker V., Faust M., Biniash O., Kabelitz T., Siller P., Boedeker C., Schumann P., Roesler U., Amon T., Schepanski K., Funk R., Nübel U. 2020. Airborne bacterial emission fluxes from manure-fertilized agricultural soil. *Microb Biotechnol*.13:1631-1647.

