



© Maurice Weiss

## Jacobus J. (Koos) Boomsma, Ph.D.

Professor of Evolutionary Biology

Universität Kopenhagen

Born in 1951 in Rotterdam, the Netherlands  
Studied Biology at the Vrije Universiteit Amsterdam

SCHWERPUNKT

### ARBEITSVORHABEN

## The Points-of-no-Return Ratchet to Higher Levels of Organismal Complexity

I plan to continue exploring the boundaries of the lifetime commitment principle that I developed in previous review papers. My approach elaborates that the origins of major transitions to obligate multicellularity and colonial superorganismality can always be captured in necessary and sufficient conditions that emerge from Hamilton's rule. The lifetime commitment principle, also known as the lifetime monogamy principle for explaining obligate reproductive division of labor in the social insects, appears to have fundamental consequences for how we understand the progression of life's complexity over evolutionary time. Major transitions to higher levels of organic complexity are a ratchet-like process. When the ratchet will click cannot be predicted, but if it does it will produce a major transition that is irreversible. Secondary reductions of complexity may well happen, but genome-wide rewiring of developmental pathways makes reversals to ancestral lower-level complexity impossible. In this view, "coming together" in same-generation chimeras is a fundamentally different starting condition from "staying together" across generations. Only staying together can lead to permanent higher-level adaptive states of complexity via family selection, whereas (non-family) group selection is unable to achieve that for "coming together". George C. Williams rightly acknowledged the fundamental difference between family selection and group selection more than 50 years ago, but the later sociobiology tradition lost sight of this distinction that was in fact also intuitively clear to Darwin, Weismann, and the key architects of the Modern Synthesis of evolutionary biology. Capturing the lifetime commitment principle in verbal, diagrammatic and simple mathematical terms is an important overarching objective, both for my book project and for additional studies to be pursued during my stay at the Wissenschaftskolleg.

### Recommended Reading

- Boomsma, J. J. and R. Gawne (2018). "Superorganismality and caste differentiation as points of no return: how the major evolutionary transitions were lost in translation." *Biological Reviews* 93: 28-54.
- Smith, S. M., D. S. Kent, J. J. Boomsma, and A. J. Stow (2018). "Lifetime monogamous sperm storage and permanent worker sterility in a long-lived ambrosia beetle." *Nature Ecology and Evolution*. doi: 10.1038/s41559-018-0533-3.
- Boomsma, J. J. (2016). "Fifty years of illumination about the natural levels of adaptation." *Current Biology* 26, R1250-R1255.
- Boomsma, J. J. (2013). "Beyond promiscuity: Mate choice commitments in social breeding." *Philosophical Transactions of the Royal Society London* 368: 20120050.

## Von Insektengesellschaften und Superorganismen - und wie die Komplexität des Lebens einrastet

In unserem Jahrhundert einer von Daten vorangetriebenen Biologie wird der Umstand, dass die Biologie über eine umfassende Theorie der Anpassung verfügt, nicht immer gewürdigt. Wenn wir das betrachten, was Darwin nicht nur vermutete, sondern tatsächlich erklärte, wäre "The Origin of Adaptation" ein besserer Titel für sein bahnbrechendes Werk "The Origin of Species" gewesen. Doch die Theorie der Anpassung konnte nicht vervollständigt werden, bis der entscheidende Mechanismus der Vererbung im frühen 20. Jahrhundert in die Evolutionstheorie integriert wurde. Die Erkenntnis, dass Genetik über Partikel funktioniert, also binär ist und sich nicht als unspezifischer Vermischungsprozess vollzieht, beflügelte alle modernen Entwicklungen in der Molekularbiologie. Sie führte auch zu einem neuen, nämlich dem genzentrierten Ansatz der Anpassungstheorie. Dieser Ansatz konzentriert sich darauf, wie Gene ihre Repräsentation in zukünftigen Generationen maximieren können, indem sie kleine kumulative Veränderungen herbeiführen, die - in Konkurrenz zu alternativen Varianten - ihren Erfolg am selben Genlocus auf dem Chromosom begünstigen.

Unabhängig voneinander entwickelten William D. Hamilton und George C. Williams in den 1960er Jahren einen genzentrierten Ansatz der Anpassungstheorie. Hamiltons Version, die man auch als Theorie der Gesamtfitness oder als Theorie der Verwandtenselektion kennt, gewann großen Einfluss, weil sie reproduktiven Altruismus als Folge der Expression egoistischer Gene (eine von Richard Dawkins geprägte Metapher) erklärte. Die Logik dieser Theorie lässt sich in Hamiltons Formel zusammenfassen - einer einfachen Ungleichung, die besagt, dass jedes Gen, das reproduktiven Altruismus herbeiführt (also jemand anders bei der Fortpflanzung unterstützt), verbreitet wird, wenn  $brs > cro$ . Hier bezeichnet  $cro$  die Verzichtskosten auf der Ebene des Gens, wenn man keine Nachkommen hat, mit denen man durch  $ro$  verwandt ist; und  $brs$  bezeichnet den Vorteil, der durch Genkopien entsteht, die an zukünftige Generationen weitergegeben werden, und zwar durch die Nachkommen von Geschwistern (oder weniger nahen Verwandten), mit denen man über  $rs$  verwandt ist. Die Theorie der Gesamtfitness macht viele überprüfbare Vorhersagen, welche sozialen Eigenschaften sich evolutionär entwickelt (oder nicht entwickelt) haben sollten; diese Vorhersagen sind durch empirische Forschungen durchgängig bestätigt worden.

Soziale Insekten sind ein hervorragendes Testfeld für die Theorie der Gesamtfitness, weil ihre Arbeiterinnen oft oder immer unbegattet bleiben, was zu bestimmten Formen der Unfruchtbarkeit führt, die nur dann sinnvoll sind, wenn Verwandte davon profitieren. Die Arbeiterinnen von Insektenstaaten bleiben nur bedingt unbegattet, aber der dauerhafte Verzicht auf Fortpflanzung (Darwins Neutren) ermöglicht die Evolution von Insektenkolonien als gewaltige Superorganismen. Nachdem ich Sie in einige Aspekte der allgemeinen Naturgeschichte eingeführt habe, befasse ich mich eingehend mit den beeindruckenden sozialen Anpassungen der Blattschneiderameisen, die Pilzgärten anlegen. Dann möchte ich zeigen, dass ihre superorganismischen Kolonien auch erschreckende Anomalien sind, weil jede individuelle Handlungsfähigkeit ("Freiheit"), die wir für gewöhnlich mit Gesellschaften bzw. Staaten verbinden, verloren gegangen ist. Schließlich möchte ich die wahrscheinlichsten Kausalmechanismen erörtern, die die evolutionären Übergänge von Insektenstaaten zu Superorganismen herbeigeführt haben; auch spreche ich über die engen Analogien zum reproduktiven Altruismus bei Zellen, der vielzellige Organismen hervorgebracht hat.

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (Oxford,2022)

Domains and major transitions of social evolution

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1820722635>

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (2018)

Reconstructing the functions of endosymbiotic Mollicutes in fungus-growing ants

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1042317364>

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (London,2018)

Towards reconstructing the ancestral brain gene-network regulating caste differentiation in ants

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1042316031>

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (London,2018)

Monogamous sperm storage and permanent worker sterility in a long-lived ambrosia beetle

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1042315426>

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (London,2013)

Beyond promiscuity : mate-choice commitments in social breeding

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=104231635X>

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (Oxford [u.a.],2011)

No benefit in diversity? : the effect of genetic variation on survival and disease resistance in a polygynous social insect

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1017877971>

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (Cham (ZG),2011)

Queen-worker caste ratio depends on colony size in the pharaoh ant (*Monomorium pharaonis*)

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1017877513>

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (Washington, DC [u.a.],2010)

Seminal fluid mediates ejaculate competition in social insects

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1042318603>

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (Oxford [u.a.],2010)

Blending of heritable recognition cues among ant nestmates creates distinct colony gestalt odours but prevents within-colony nepotism

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1017841705>

Boomsma, Jacobus J. (Koos) (London,1996)

Paternity in eusocial Hymenoptera

<https://kxp.k1oplus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=771339208>