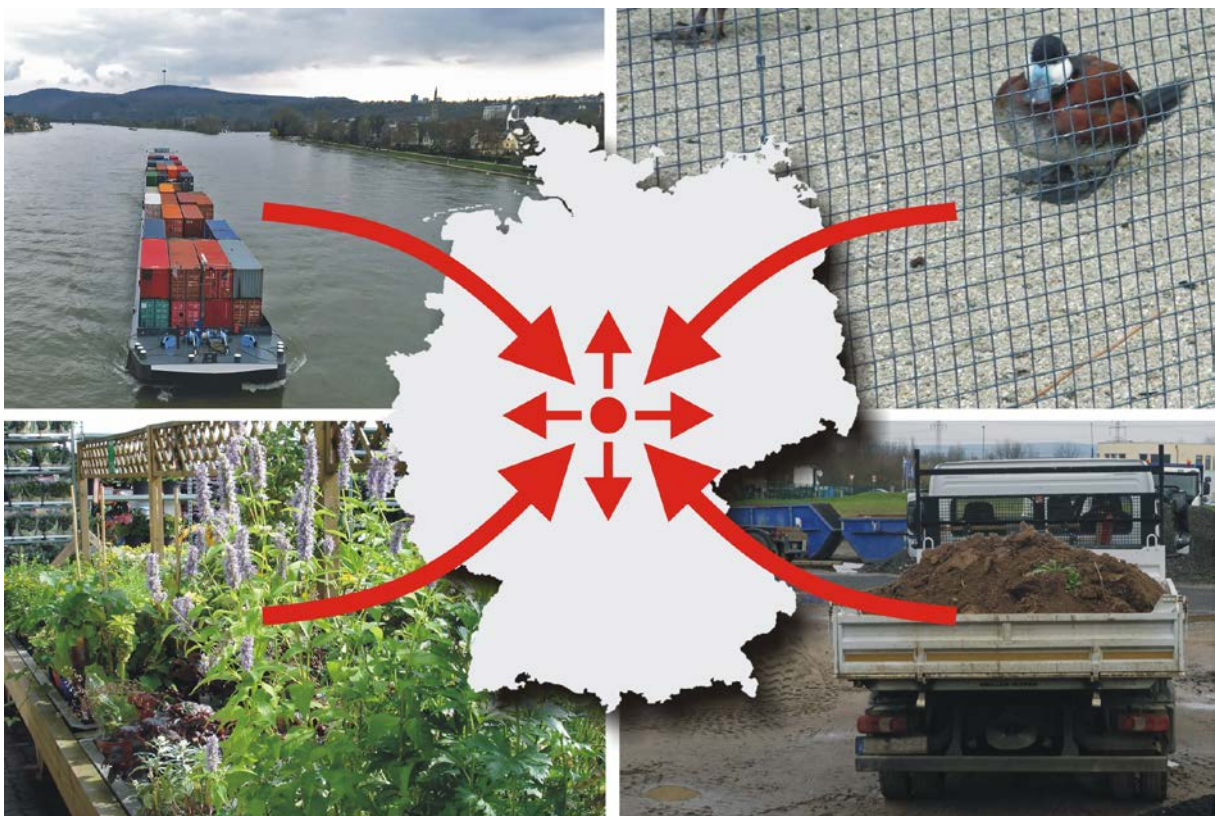


**Wolfgang Rabitsch, Tina Heger, Jonathan Jeschke,
Wolf-Christian Saul und Stefan Nehring**

**Analyse und Priorisierung der Pfade nicht
vorsätzlicher Einbringung und Ausbreitung
invasiver gebietsfremder Arten in Deutschland
gemäß Verordnung (EU) Nr. 1143/2014**

**Analysis and prioritisation of pathways of
unintentional introduction and spread of
invasive alien species in Germany in
accordance with Regulation (EU) No 1143/2014**



**Analyse und Priorisierung der Pfade nicht
vorsätzlicher Einbringung und Ausbreitung
invasiver gebietsfremder Arten in Deutschland
gemäß Verordnung (EU) Nr. 1143/2014**

**Analysis and prioritisation of pathways of
unintentional introduction and spread of
invasive alien species in Germany in
accordance with Regulation (EU) No 1143/2014**

**Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben (FKZ 3515 86 0500) /
Results of the Research and Development
Project (FKZ 3515 86 0500)**

**Wolfgang Rabitsch
Tina Heger
Jonathan Jeschke
Wolf-Christian Saul
Stefan Nehring**

Titelbild/ Cover: Wichtige Pfade der nicht vorsätzlichen Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten in Deutschland/important pathways of unintentional introduction and spread of invasive alien species in Germany: oben links/above left: Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen, in oder auf Schiffen, Ballastwasser, Bewuchs/Anlagerung an Schiffen/Unassisted dispersal along canals or waterways, in or on ships, ballast water, growth/accumulation on the body of ships; oben rechts/above right: Heimtierhandel, Zierarten, Tierpark/Pet trade, ornamental species, zoo; unten links/below left: Zierarten, Material aus Gärtnereien und Baumschulen, Botanischer Garten, in oder an pflanzlichen Biovektoren/Ornamental species, material from garden centres and tree nurseries, botanic garden, in or on plant bio-vectors; unten rechts/below right: Verunreinigung von Erdreich/Kies/totem Pflanzenmaterial/Contamination of soil/gravel/dead plants (Graphik und Fotos/Graphik and photos: alle/all ©Stefan Nehring)

Adressen der Autorinnen und Autoren/Author affiliations:

Dr. Wolfgang Rabitsch Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien, Österreich
E-Mail: wolfgang.rabitsch@umweltbundesamt.at

Dr. Tina Heger Aktuelle Adresse:
Universität Potsdam, Biodiversitätsforschung/Systematische Botanik
Maulbeerallee 2a, 14469 Potsdam
E-Mail: tina.heger@uni-potsdam.de

Prof. Dr. Jonathan Jeschke Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)
Müggelseedamm 310, 12587 Berlin
Freie Universität Berlin, Institut für Biologie
Königin-Luise-Str. 1-3, 14195 Berlin
E-Mail: jonathan.jeschke@gmx.net

Dr. Wolf-Christian Saul Aktuelle Adresse:
Centre for Invasion Biology (CIB), Stellenbosch University
Private Bag X1, Matieland 7602, South Africa
E-Mail: wsaul@sun.ac.za

Dr. Stefan Nehring Bundesamt für Naturschutz,
Konstantinstr. 110, 53179 Bonn
E-Mail: stefan.nehring@bfn.de

Übersetzung/Translation: Brigitte Read, Umweltbundesamt GmbH, Wien, Österreich

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de). BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter http://www.bfn.de/0502_skripten.html heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des institutionellen Herausgebers unzulässig und strafbar.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN.

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-227-3

DOI 10.19217/skr490

Bonn - Bad Godesberg 2018

Inhaltsverzeichnis / Contents

VORWORT	5
---------------	---

Analyse und Priorisierung der Pfade nicht vorsätzlicher Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten in Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 1143/2014

1	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	7
2	METHODEN UND DATENGRUNDLAGEN	8
2.1	Definitionen und Begriffserklärungen	8
2.2	Artenauswahl	9
2.3	Auswertungen	13
2.4	Priorisierung	14
3	ERGEBNISSE	14
3.1	Die Pfad-Kategorien und Pfade der 37 Arten der Unionsliste	20
3.2	Die Pfad-Kategorien und Pfade der 93 in Deutschland invasiven Arten	30
3.3	Die Pfad-Kategorien der in Deutschland invasiven Arten ohne Algen und Pilze	40
3.4	Die prioritären Pfade	46
4	DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	52
5	DANKSAGUNG	53
6	LITERATUR	54

Analysis and prioritisation of pathways of unintentional introduction and spread of invasive alien species in Germany in accordance with Regulation (EU) No 1143/2014

1	INTRODUCTION	55
2	METHODOLOGY AND DATA	56
2.1	Definitions	56
2.2	Species selection	57
2.3	Analyses	61
2.4	Prioritisation	61
3	RESULTS	62
3.1	Pathway categories and pathways used by the 37 Union list species	68
3.2	Pathway categories and pathways for the 93 species listed as invasive in Germany	78
3.3	Pathway categories for species listed as invasive in Germany without algae and fungi	88
3.4	Priority pathways	94
4	DISCUSSION AND CONCLUSIONS	100
5	ACKNOWLEDGEMENTS	102
6	LITERATURE	103

VORWORT

Das Auftreten gebietsfremder Arten an neuen Standorten ist nicht immer ein Grund zur Besorgnis. Jedoch können einige gebietsfremde Arten invasiv werden, d.h. sie können aus Naturschutzsicht ernsthaft nachteilige Folgen für die Biodiversität und die damit verbundenen Ökosystemdienstleistungen haben, die verhindert werden sollten. Dabei gilt, dass Vorsorge gegenüber invasiven Arten generell aus ökologischer Sicht wünschenswerter und kostenwirksamer ist als ein nachträgliches Tätigwerden. So beinhaltet die am 1. Januar 2015 in Kraft getretene Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten verschiedene präventive Maßnahmen, um die Einbringung und Ausbreitung invasiver Arten der Unionsliste zu verhindern oder zumindest zu minimieren. Neben Verboten, die die vorsätzlichen Aktivitäten wie Handel, Besitz und Zucht regeln, sollen auch die nicht vorsätzlichen Pfade in der EU wirksamer gemanagt werden. Angesichts der relativ begrenzten Erfahrungen auf diesem Gebiet ist für die Entwicklung diesbezüglicher Maßnahmen in der EU-Verordnung eine stufenweise Vorangehensweise festgeschrieben.

In einem ersten Schritt sind durch jeden Mitgliedstaat bis Februar 2018 eine Analyse und Priorisierung der Pfade der nicht vorsätzlichen Einbringung und Ausbreitung invasiver Arten für das Hoheitsgebiet durchzuführen. Darauf aufbauend erstellt jeder Mitgliedstaat anschließend einen Aktionsplan, in dem die zu treffenden Maßnahmen an den prioritären Pfaden beschrieben sind. Nach Festschreibung im Bundesnaturschutzgesetz hat der Bund diese Aufgaben verpflichtend übernommen. Aus diesem Grund hat das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesumweltministeriums ein erstes F+E-Vorhaben ausgeschrieben und vergeben, um die fachlichen Grundlagen hinsichtlich der nicht vorsätzlichen Pfade erarbeiten und die notwendige Analyse und Priorisierung durchführen zu lassen. Das Vorhaben wurde durch eine projektbegleitende Arbeitsgruppe unter Leitung des BfN unterstützt, die fünfmal in Bonn getagt hat. Mein Dank gilt neben den engagierten Auftragnehmern insbesondere den vielen verschiedenen Akteuren aus Bund und Ländern, Verbänden, Wissenschaft und Wirtschaft, die ihr Wissen und ihre Erfahrungen gewinnbringend für alle Seiten in die PAG eingebracht haben. Das nunmehr vorliegende BfN-Skript fasst die Ergebnisse des F+E-Vorhabens zusammen und erfüllt die Vorgaben aus der EU-Verordnung. Auf Grundlage dieser ausgezeichneten Fachexpertise kann jetzt als Folgeschritt und ebenfalls im Rahmen eines 2018 zu vergebenden F+E-Vorhabens die Erarbeitung des notwendigen Aktionsplans begonnen werden.

Prof. Dr. Beate Jessel
Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz

Analyse und Priorisierung der Pfade nicht vorsätzlicher Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten in Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 1143/2014

1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Am 1. Januar 2015 ist die Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten (im Folgenden EU-Verordnung, EU-VO) in Kraft getreten. Invasive gebietsfremde Arten können eine Gefährdung und Beeinträchtigung heimischer Arten und Lebensräume darstellen, darunter auch Schutzgüter von besonderem Stellenwert, wie z. B. Arten und Lebensräume der Anhänge der FFH-Richtlinie, streng geschützte Arten laut BArtSchV sowie Arten, für die Deutschland eine hohe Verantwortlichkeit besitzt.

Die EU-Verordnung orientiert sich am dreistufigen, hierarchischen Prinzip des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (CBD) zum Umgang mit gebietsfremden Arten und enthält Bestimmungen zur (i) Prävention, (ii) Früherkennung und sofortige Beseitigung sowie (iii) zum Management von bereits weit verbreiteten invasiven gebietsfremden Arten. Im Fokus der Verordnung steht eine Liste invasiver Arten von unionsweiter Bedeutung (Unionsliste), die in einer ersten Fassung mit 37 Arten am 3.8.2016, und in einer um 12 Arten erweiterten Fassung mit nunmehr insgesamt 49 Arten seit 2.8.2017 in Kraft getreten ist (mit einer Ausnahme: die Listung des Marderhundes gilt erst ab 2.2.2019) (Nehring & Skowronek 2017). Zukünftige Erweiterungen der Unionsliste sind geplant und derzeit in unterschiedlichen Stadien der Vorbereitung.

Die vorsätzliche Einbringung dieser Arten soll durch verschiedene Beschränkungen, z. B. ein Besitz- und Vermarktungsverbot (Art. 7 der EU-VO), verhindert werden. Die Arten dürfen nicht vorsätzlich a) in das Gebiet der Union verbracht werden, auch nicht zur Durchfuhr unter zollamtlicher Überwachung; b) gehalten werden, auch nicht in Haltung unter Verschluss; c) gezüchtet werden, auch nicht in Haltung unter Verschluss; d) in die, aus der und innerhalb der Union befördert werden, es sei denn, sie werden im Zusammenhang mit der Beseitigung zu entsprechenden Einrichtungen befördert; e) in Verkehr gebracht werden; f) verwendet oder getauscht werden; g) zur Fortpflanzung, Aufzucht oder Veredelung gebracht werden, auch nicht in Haltung unter Verschluss, oder h) in die Umwelt freigesetzt werden.

Die nicht vorsätzliche Einbringung dieser Arten soll hingegen in erster Linie durch entsprechende Präventivmaßnahmen an den Einbringungspfaden verhindert werden. Einbringungspfade sind jene Wege und Mechanismen, die als Folge menschlichen Wirkens zu einer Verbringung einer Art aus ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet heraus führen. Sollten diese Maßnahmen fehlschlagen und die Arten in die freie Natur gelangen, gilt es die weitere Ausbreitung zu verhindern. Ausbreitungspfade beschreiben die Wege und Mechanismen, die zu einer Erweiterung oder Verschiebung des Verbreitungsgebietes der gebietsfremden Art nach der Einbringung führen.

Nach Artikel 13 Abs. 1 der EU-VO muss jeder Mitgliedstaat bis Anfang 2018 eine Untersuchung und Priorisierung der nicht vorsätzlichen Pfade der Einbringung und Ausbreitung der Arten der Unionsliste für sein Hoheitsgebiet vorlegen. Als Priorisierungskriterien werden in der EU-VO das Artenvolumen oder der potenzielle Schaden vorgeschlagen. Aufbauend auf diese „prioritären Pfade“ muss jeder Mitgliedstaat nach Artikel 13 Abs. 2 der EU-VO bis Juli 2019 einen einzigen Aktionsplan oder

ein Paket mit Aktionsplänen entwickeln, welche die nicht vorsätzliche Einbringung und Ausbreitung von Arten der Unionsliste in die bzw. innerhalb der Union verhindern sollen.

In der vorliegenden Studie werden die Methode der Priorisierung und die Ergebnisse für Deutschland vorgestellt und diskutiert.

2 METHODEN UND DATENGRUNDLAGEN

In der Invasionsökologie wird der Ablauf einer Invasion meist als stufenartiger Vorgang beschrieben, der sich in mehrere Abschnitte aufteilen lässt: Transport in das Bezugsgebiet, Ausbringung in die freie Natur, Etablierung und Ausbreitung (vgl. Blackburn et al. 2011, Jeschke et al. 2013). Gebietsfremde Arten können auf unterschiedlichen Pfaden im Gebiet ankommen (Einführungspfade), in die freie Natur (außerhalb menschlicher Obhut) gelangen (Ausbringungspfade) und sich dann ausbreiten (Ausbreitungspfade). Die EU-VO summiert Einführung und Ausbringung unter dem Begriff „Einbringung“. In der vorliegenden Priorisierung wurden die Pfade jedoch getrennt für die Invasionsstufen Einführung, Ausbringung und Ausbreitung (inkl. Etablierung) erhoben (Kasten 1).

KASTEN 1

Einführungspfade: beschreiben die Wege und Mechanismen, wie eine gebietsfremde Art in das Gebiet gelangt

Ausbringungspfade: beschreiben die Wege und Mechanismen, wie eine gebietsfremde Art in die freie Natur (außerhalb menschlicher Obhut) gelangt

Ausbreitungspfade: beschreiben die Wege und Mechanismen, die zu einer Erweiterung oder Verschiebung des Verbreitungsgebietes der gebietsfremden Art führen

2.1 Definitionen und Begriffserklärungen

Es gibt eine Vielzahl an möglichen Einbringungspfaden und entsprechend unterschiedliche Klassifikationsvorschläge und Terminologien. Die Europäische Kommission schlägt vor, für die Priorisierung der Pfade das Klassifikationssystem zu verwenden, das kürzlich im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (CBD) vorgeschlagen wurde (UNEP 2014). Die CBD-Pfadkategorien orientieren sich an Hulme et al. (2008) und gliedern sich in sechs Hauptkategorien: i) Freisetzung (Release in nature), ii) Entkommen aus Gefangenschaft (Escape from confinement), iii) Verunreinigung (Contaminant), iv) Blinder Passagier (Stowaway), v) Korridor (Corridor), vi) ohne Hilfe (Unaided). Innerhalb der Hauptkategorien werden bis zu 12 Pfade unterschieden, die verschiedene Wege und Mechanismen abdecken. Im Idealfall überlappen sich diese Pfade nicht und sind eindeutig zuzuordnen, in der Praxis blieb jedoch in manchen Fällen ein gewisser Interpretationsspielraum für den Bearbeiter offen. Für die vorliegende Priorisierung wurde das CBD-Schema geringfügig angepasst und die Pfade getrennt für die Invasionsstufen Einführung, Ausbringung und Ausbreitung erhoben. Das hier verwendete Schema wird auch in der aktuellen Neufassung der „Naturschutzfachlichen Invasivitätsbewertung 2.0“ verwendet (BfN in Vorber., siehe auch Tabelle 2). So kann eine Art zum Beispiel vorsätzlich für den Gartenbau eingeführt werden (Einführungspfad), danach nicht vorsätzlich in die freie Natur entkommen (Ausbringungspfad) und sich in der Folge eigenständig ohne Hilfe durch den Menschen ausbreiten (Ausbreitungspfad).

Die Anpassung des CBD-Schemas umfasste folgende Elemente:

- Textliche Ergänzungen zur besseren Abgrenzung der einzelnen Pfade
- Ergänzende Einteilung in „vorsätzliche“ und „nicht vorsätzliche“ Pfad-Kategorien
- Ergänzung der Hauptkategorie „Unbekannt“
- Zuweisung der Pfade entsprechend der drei Phasen (Einführung, Ausbringung, Ausbreitung)

Das Durchlaufen der Invasionsphasen durch eine Art ist nicht in jedem Fall eindeutig in die drei Phasen „zerlegbar“ und so sind manche Ereignisse zwangsläufig miteinander verknüpft. Gelangt eine Art zum Beispiel eigenständig durch einen Korridor (z. B. Schifffahrtskanal) in das Gebiet, so erfolgt diese Einführung (Ankunft im Bezugsgebiet) gleichzeitig auch als Ausbringung (Auftreten in freier Natur). Andererseits kann die Ausbringungspfad-Kategorie „Entkommen aus Kultur oder Haltung“ nicht gleichzeitig sinnvoll als Einbringungspfad verwendet werden.

Da im vorliegenden Projekt eine Priorisierung der nicht vorsätzliche Pfade vorgenommen wird, werden vorsätzliche Pfade (in der Pfad-Kategorie „Direkte Freisetzung in die Natur“, vgl. BfN in Vorber.) in der Folge nicht weiter berücksichtigt.

2.2 Artenauswahl

Die EU-VO sieht die Priorisierung der Pfade anhand der Arten der Unionsliste vor, die zum Zeitpunkt der hier durchgeführten Analyse 37 Arten umfasste (Nehring & Skowronek 2017). Angesichts dieser geringen Stichprobe, insbesondere im Vergleich mit der Zahl an gebietsfremden Arten in Europa (rund 12.000, davon schätzungsweise rund 10 % invasiv), besteht die Gefahr ein verzerrtes Abbild der Bedeutung der Pfade zu erhalten. So sind zum Beispiel marine Arten und dementsprechend wichtige Pfade in der Unionsliste unterrepräsentiert. Um diesem Umstand gerecht zu werden, wurde die Analyse auf eine größere Stichprobe ausgedehnt, und zwar zusätzlich zu den 37 Arten von unionsweiter Bedeutung auf alle in Deutschland durch das Bundesamt für Naturschutz als invasiv eingestufte Arten (zusätzliche 93 Arten). Diese Gruppe beinhaltet auch die 12 Arten der ersten Erweiterung der Unionsliste, die zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch nicht in Kraft getreten war. Die zwei Artengruppen (Unionsliste-Arten und weitere in Deutschland invasive Arten) werden im Folgenden getrennt ausgewertet und miteinander verglichen. Insgesamt wurden somit für die Priorisierung 130 Arten ausgewertet (Tab. 1).

Tabelle 1: In der Studie analysierte 37 Arten der ersten Unionsliste (x) (EU LIST) und in Deutschland invasive Arten. Die zwölf Arten der ersten Aktualisierung der Unionsliste sind ebenfalls gekennzeichnet (y) (EU LIST). In Deutschland großräumig vorkommende Arten sind mit einem Sternchen * gekennzeichnet.

EU LIST	Tax. Gruppe	Artname (wiss.)	Artname (dt.)	Lebensraum
x	Pflanzen	<i>Baccharis halimifolia</i>	Kreuzstrauch	terrestrisch
x	Pflanzen	<i>Cabomba caroliniana</i>	Karolina Haarnixe	Süßwasser
x	Pflanzen	<i>Eichhornia crassipes</i>	Wasserhyazinthe	Süßwasser
x	Pflanzen	<i>Heracleum persicum</i>	Persischer Bärenklau	terrestrisch
x	Pflanzen	<i>Heracleum sosnowskyi</i>	Sosnowskyi Bärenklau	terrestrisch
x	Pflanzen	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Hahnenfußähnlicher Wassernabel	Süßwasser
x	Pflanzen	<i>Lagarosiphon major</i>	Afrikanische Wasserpest	Süßwasser

EU LIST	Tax. Gruppe	Artname (wiss.)	Artname (dt.)	Lebensraum
x	Pflanzen	<i>Ludwigia grandiflora</i>	Großblütiges Heusenkraut	Süßwasser
x	Pflanzen	<i>Ludwigia peploides</i>	Flutendes Heusenkraut	Süßwasser
x	Pflanzen	<i>Lysichiton americanus</i>	Amerikanische Scheinkalla	terrestrisch
x	Pflanzen	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Brasilianisches Tausendblatt	Süßwasser
x	Pflanzen	<i>Parthenium hysterophorus</i>	Karottenkraut	terrestrisch
x	Pflanzen	<i>Persicaria perfoliata</i>	Durchwachsener Knöterich	terrestrisch
x	Pflanzen	<i>Pueraria lobata</i>	Kudzu	terrestrisch
x *	Wirbellose	<i>Eriocheir sinensis</i>	Wollhandkrabbe	Süßwasser
x *	Wirbellose	<i>Orconectes limosus</i>	Kamberkrebs	Süßwasser
x	Wirbellose	<i>Orconectes virilis</i>	Viril-Flusskrebs	Süßwasser
x *	Wirbellose	<i>Pacifastacus leniusculus</i>	Signalkrebs	Süßwasser
x	Wirbellose	<i>Procambarus clarkii</i>	Roter Amerikanischer Sumpfkrebs	Süßwasser
x	Wirbellose	<i>Procambarus fallax f. virginialis</i>	Marmorkrebs	Süßwasser
x	Wirbellose	<i>Vespa velutina</i>	Asiatische Hornisse	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Callosciurus erythraeus</i>	Pallashörnchen	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Corvus splendens</i>	Glanzkrähe	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Herpestes javanicus</i>	Kleiner Mungo	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Lithobates catesbeianus</i>	Ochsenfrosch	Süßwasser
x	Wirbeltiere	<i>Muntiacus reevesi</i>	Chinesischer Muntjak	terrestrisch
x *	Wirbeltiere	<i>Myocastor coypus</i>	Nutria	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Nasua nasua</i>	Südamerikanischer Nasenbär	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Oxyura jamaicensis</i>	Schwarzkopf-Ruderente	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Perccottus glenii</i>	Amur-Schläfergrundel	Süßwasser
x *	Wirbeltiere	<i>Procyon lotor</i>	Waschbär	terrestrisch
x *	Wirbeltiere	<i>Pseudorasbora parva</i>	Blaubandbärbling	Süßwasser
x	Wirbeltiere	<i>Sciurus carolinensis</i>	Grauhörnchen	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Sciurus niger</i>	Fuchshörnchen	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Tamias sibiricus</i>	Sibirisches Streifenhörnchen	terrestrisch
x	Wirbeltiere	<i>Threskiornis aethiopicus</i>	Heiliger Ibis	terrestrisch
x *	Wirbeltiere	<i>Trachemys scripta</i>	Buchstabenschildkröte	Süßwasser
*	Algen	<i>Coscinodiscus wailesii</i>	Wailes-Kieselalge	marin
*	Algen	<i>Fibrocapsa japonica</i>	Japanischer Flagellat	marin
	Algen	<i>Fucus evanescens</i>	Klauentang	marin
*	Algen	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	Besentang	marin
	Algen	<i>Pseudochattonella verruculosa</i>	–	marin
*	Algen	<i>Sargassum muticum</i>	Japanischer Beerentang	marin

EU LIST	Tax. Gruppe	Artname (wiss.)	Artname (dt.)	Lebensraum
	Algen	<i>Undaria pinnatifida</i>	Wakame	marin
	Pilze	<i>Cryptostroma corticale</i>	Rußrindenkrankheit	terrestrisch
*	Pilze	<i>Cylindrocladium buxicola</i>	Buchsbrand	terrestrisch
	Pilze	<i>Dothistroma septosporum</i>	Dothistroma-Nadelbräune	terrestrisch
*	Pilze	<i>Erysiphe alphitoides</i>	Eichenmehltau	terrestrisch
*	Pilze	<i>Hymenoscyphus fraxineus</i>	Eschentriebsterben	terrestrisch
	Pilze	<i>Lecanosticta acicola</i>	Lecanosticta-Nadelbräune	terrestrisch
*	Pilze	<i>Ophiostoma novo-ulmi</i>	Neues Ulmensterben	terrestrisch
*	Pilze	<i>Ophiostoma ulmi</i>	Ulmensterben	terrestrisch
*	Pilze	<i>Phytophthora alni</i>	Erlensterben	terrestrisch
	Pilze	<i>Phytophthora cambivora</i>	–	terrestrisch
*	Pilze	<i>Phytophthora citricola</i>	–	terrestrisch
	Pilze	<i>Seiridium cardinale</i>	Zypressenkrebs	terrestrisch
*	Pilze	<i>Venturia inaequalis</i>	Apfelschorf	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Acer negundo</i>	Eschen-Ahorn	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Ailanthus altissima</i>	Götterbaum	terrestrisch
y	Pflanzen	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	Alligatorkraut	Süßwasser
y	Pflanzen	<i>Asclepias syriaca</i>	Seidenpflanze	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Azolla filiculoides</i>	Großer Algenfarn	Süßwasser
	Pflanzen	<i>Crassula helmsii</i>	Nadelkraut	Süßwasser
*	Pflanzen	<i>Cynodon dactylon</i>	Gewöhnliches Hundszahngras	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Elodea canadensis</i>	Kanadische Wasserpest	Süßwasser
y *	Pflanzen	<i>Elodea nuttallii</i>	Schmalblättrige Wasserpest	Süßwasser
*	Pflanzen	<i>Epilobium ciliatum</i>	Drüsiges Weidenröschen	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Fallopia bohemica</i>	Bastard-Staudenknöterich	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Fallopia japonica</i>	Japan-Staudenknöterich	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Fallopia saccalinensis</i>	Sachalin-Staudenknöterich	terrestrisch
	Pflanzen	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Pennsylvanische Esche	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Galeobdolon argentatum</i>	Silber-Goldnessel	terrestrisch
y	Pflanzen	<i>Gunnera tinctoria</i>	Färber-Mammutblatt	terrestrisch
y *	Pflanzen	<i>Heracleum mantegazzianum</i>	Riesen-Bärenklau	terrestrisch
y *	Pflanzen	<i>Impatiens glandulifera</i>	Drüsiges Springkraut	terrestrisch
	Pflanzen	<i>Ludwigia x kentiana</i>	Kents Heusenkraut	Süßwasser
*	Pflanzen	<i>Lupinus polyphyllus</i>	Vielblättrige Lupine	terrestrisch
y	Pflanzen	<i>Microstegium vimineum</i>	Japanisches Stelzengras	terrestrisch
y	Pflanzen	<i>Myriophyllum heterophyllum</i>	Verschiedenblättriges Tausendblatt	Süßwasser

EU LIST	Tax. Gruppe	Artname (wiss.)	Artname (dt.)	Lebensraum
y	Pflanzen	<i>Pennisetum setaceum</i>	Lampenputzergras	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Phedimus spurius</i>	Kaukasus-Glanzfetthenne	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Pinus strobus</i>	Weymouth-Kiefer	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Populus canadensis</i>	Bastard-Pappel	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Prunus serotina</i>	Späte Traubenkirsche	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Gewöhnliche Douglasie	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Quercus rubra</i>	Rot-Eiche	terrestrisch
	Pflanzen	<i>Rhododendron ponticum</i>	Pontischer Rhododendron	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinie	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Rosa rugosa</i>	Kartoffel-Rose	terrestrisch
	Pflanzen	<i>Sarracenia purpurea</i>	Braunrote Schlauchpflanze	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Solidago canadensis</i>	Kanadische Goldrute	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Solidago gigantea</i>	Späte Goldrute	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Spartina anglica</i>	Salz-Schlickgras	marin
*	Pflanzen	<i>Symphotrichum lanceolatum</i>	Lanzett-Herbstaster	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Symphotrichum novi-belgii</i>	Neubelgien-Herbstaster	terrestrisch
*	Pflanzen	<i>Syringa vulgaris</i>	Gewöhnlicher Flieder	terrestrisch
*	Wirbellose	<i>Anguillicoloides crassus</i>	Aal-Schwimmblassenwurm	Süßwasser
*	Wirbellose	<i>Arion vulgaris</i>	Spanische Wegschnecke	terrestrisch
*	Wirbellose	<i>Astacus leptodactylus</i>	Galizischer Sumpfkrebs	Süßwasser
*	Wirbellose	<i>Chelicorophium curvispinum</i>	Süßwasser-Röhrenkreb	Süßwasser
*	Wirbellose	<i>Corbicula fluminalis</i>	Feingerippte Körbchenmuschel	Süßwasser
*	Wirbellose	<i>Corbicula fluminea</i>	Grobgerippte Körbchenmuschel	Süßwasser
*	Wirbellose	<i>Crassostrea gigas</i>	Pazifische Felsenauster	marin
*	Wirbellose	<i>Cydalima perspectalis</i>	Buchsbaumzünsler	terrestrisch
	Wirbellose	<i>Didemnum vexillum</i>	Tropf-Seescheide	marin
*	Wirbellose	<i>Dikerogammarus villosus</i>	Großer Höckerflohkrebs	Süßwasser
	Wirbellose	<i>Dreissena bugensis</i>	Quagga-Muschel	Süßwasser
*	Wirbellose	<i>Dreissena polymorpha</i>	Wandermuschel	Süßwasser
*	Wirbellose	<i>Ensis directus</i>	Amerikanische Schwertmuschel	marin
*	Wirbellose	<i>Gammarus tigrinus</i>	Gefleckter Flußflohkrebs	Süßwasser
*	Wirbellose	<i>Harmonia axyridis</i>	Asiatischer Marienkäfer	terrestrisch
	Wirbellose	<i>Lasius neglectus</i>	Gartenameise	terrestrisch
	Wirbellose	<i>Orconectes immunis</i>	Kalikokrebs	Süßwasser
*	Wirbellose	<i>Varroa destructor</i>	Varroamilbe	terrestrisch
	Wirbeltiere	<i>Acipenser baerii</i>	Sibirischer Stör	Süßwasser

EU LIST	Tax. Gruppe	Artnome (wiss.)	Artnome (dt.)	Lebensraum
	Wirbeltiere	<i>Alectoris chukar</i>	Chukarhuhn	terrestrisch
y *	Wirbeltiere	<i>Alopochen aegyptiacus</i>	Nilgans	terrestrisch
*	Wirbeltiere	<i>Ameiurus melas</i>	Schwarzer Zwergwels	Süßwasser
*	Wirbeltiere	<i>Ameiurus nebulosus</i>	Brauner Zwergwels	Süßwasser
*	Wirbeltiere	<i>Cervus nippon</i>	Sikahirsch	terrestrisch
*	Wirbeltiere	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Graskarpfen	Süßwasser
*	Wirbeltiere	<i>Neogobius melanostomus</i>	Schwarzmundgrundel	Süßwasser
*	Wirbeltiere	<i>Neovison vison</i>	Mink	terrestrisch
y *	Wirbeltiere	<i>Nyctereutes procyonoides</i>	Marderhund	terrestrisch
*	Wirbeltiere	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Regenbogenforelle	Süßwasser
y *	Wirbeltiere	<i>Ondatra zibethicus</i>	Bisamratte	terrestrisch
	Wirbeltiere	<i>Pelophylax bedriagae</i>	Levantinischer Wasserfrosch	Süßwasser
	Wirbeltiere	<i>Pimephales promelas</i>	Fettköpfige Elritze	Süßwasser
*	Wirbeltiere	<i>Rattus norvegicus</i>	Wanderratte	terrestrisch
	Wirbeltiere	<i>Triturus carnifex</i>	Alpenkammolch	terrestrisch

2.3 Auswertungen

Die Einführungs-, Ausbringungs- und Ausbreitungspfade nach und in Deutschland wurden für die 130 ausgewählten gebietsfremden Arten entsprechend der CBD-Pfadterminologie erhoben. Dazu wurden Daten aus vorliegenden EU-Risikobewertungen (EC 2017) und Naturschutzfachlichen Invasivitätsbewertungen (Nehring et al. 2013, 2015, Rabitsch & Nehring 2018, in Vorb.) ausgewertet und ergänzende Informationen eingearbeitet (z. B. www.cabi.org/isc; www.eppo.int).

In den folgenden Auswertungen werden die 37 Arten der Unionsliste und die 93 in Deutschland invasiven Arten getrennt behandelt. Dies stellt zum einen die Erfüllung der Vorgaben der EU-VO sicher ("Untersuchung der Bedeutung der Pfade der nicht vorsätzlichen Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten von unionsweiter Bedeutung"; Art. 13 Abs. 1) und andererseits lassen sich so die für die relativ kleine Gruppe der Unionsarten erlangten Schlussfolgerungen mit Hilfe eines größeren Datensatzes vergleichen. Als Gruppe ausgewertet wurden zudem jene Arten, die in Deutschland nur kleinräumig verbreitet sind oder fehlen bzw. deren Verbreitung als unbekannt gilt (30 Arten der Unionsliste und 28 Arten der in Deutschland invasiven Arten). Außerdem wurde eine Auswertung der in Deutschland invasiven Arten ohne Algen und Pilze (73 Arten) durchgeführt, um den direkten Vergleich mit den Arten der Unionsliste zu erleichtern.

Der Kenntnisstand der „Nutzung“ der Pfade durch die Arten ist in manchen Fällen mit Unsicherheiten belastet. Nicht immer liegen konkrete und belegte Daten vor und manchmal ist der Pfad auch unbekannt. In vielen dieser Fälle lässt sich aber aus der Invasionsgeschichte und der Biologie der Art ein sehr wahrscheinlicher Pfad vermuten. Diese Experteneinschätzung wurde im Rahmen der vorliegenden Auswertungen getroffen und getrennt dargestellt („wahrscheinlich“). Darüber hinaus wurden die Pfade hinsichtlich der taxonomischen Gruppenzugehörigkeit (Pflanzen, Wirbeltiere, Wirbellose, Algen, Pilze) und Lebensräume (terrestrisch, Süßwasser, marin) der Arten ausgewertet.

2.4 Priorisierung

Die EU-VO schlägt in Artikel 13 Abs. 1 zwei Kriterien für die Priorisierung der Pfade vor, ohne sie näher zu erläutern: Artenvolumen und potenzieller Schaden. Unsere Vorstudien ergaben, dass sich eine Priorisierung aufgrund einer Abschätzung des Artenvolumens nicht wesentlich von einer Priorisierung aufgrund einer Abschätzung des potenziellen Schadens unterscheidet. Auch ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede im Ergebnis für zwei unterschiedliche Methoden der Abschätzung des Artenvolumens. Wir haben uns deshalb für die Priorisierungsmethode entschieden, für welche die Datenlage am besten ist: Die Priorisierung auf der Grundlage der Anzahl von Arten, die einen Pfad nutzen.

Wir definieren folglich das Artenvolumen hier als die Summe der Arten, die einen bestimmten Pfad mit Sicherheit oder wahrscheinlich benutzen. „Wahrscheinlich“ betrifft Pfade, die nach Experteneinschätzung sehr wahrscheinlich benutzt werden, für die jedoch keine direkten Nachweise bestehen (dies gilt z. B. auch für die Einführungspfade von in Deutschland fehlenden Arten). Die Priorisierung der Pfade ergibt sich somit aus der Summe ihrer Nennungen während der Pfad-Zuordnung über alle drei Invasionsphasen hinweg. Dadurch kann ein Pfad pro Art bis zu dreimal in der Gesamtsumme enthalten sein. Je höher die Gesamtanzahl der Nennungen eines Pfades, desto höher dessen Priorität.

3 ERGEBNISSE

Tabelle 2 fasst die Zahl der Nennungen der erhobenen Pfade der 37 Arten der Unionsliste und der 93 in Deutschland invasiven Arten für die Invasionsstufen Einführung, Ausbringung und Ausbreitung zusammen.

Tabelle 2: Übersicht und Beschreibung der nicht vorsätzlichen Einführungs-, Ausbringungs- und Ausbreitungspfade gebietsfremder Arten (verändert nach UNEP 2014, siehe auch BfN in Vorber.). Aus der Beschreibung ist ersichtlich, für welche Phase der Invasion (Einführung/Ausbringung/Ausbreitung) der Pfad relevant ist. Die Zahl der Nennungen entspricht der Gesamtsumme der durch die hier untersuchten 37 Arten der Unionsliste (EU-LIST) und der 93 weiteren in Deutschland invasiven Arten (D-IAS) über die drei Phasen genutzten nicht vorsätzlichen Pfade (inkl. Mehrfachnennungen, da eine Art mehrere Pfade nutzen kann). Pfad-Kategorien: 1) Entkommen aus Kultur oder Haltung, 2) Verunreinigung von transportierten Gütern, 3) Blinde Passagiere in oder an Transportmitteln, 4) Eigenständig (Korridor), 5) Eigenständig (Ohne Hilfe durch den Menschen), 6) Unbekannt.

Pfad-Kategorie	Pfad	Beschreibung	Beispiel	Zahl der Nennungen (EU LIST)	Zahl der Nennungen (D-IAS)
1	Landwirtschaft (inkl. Energiepflanzen)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung in der landwirtschaftlichen Produktion (z.B. Nahrung, Energie).	<i>Pueraria lobata</i> (Kudzu)	1	1
1	Aquakultur (limnisch und marin)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung zur Nahrungsproduktion, z.B. in Fischzuchten.	<i>Crassostrea gigas</i> (Pazifische Felsenauster)	2	11
1	Botanischer Garten / Tierpark (Zoo, Gehege, öffentliche Aquarien)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Ausstellung in botanischen Gärten oder Tierparks.	<i>Muntiacus reevesi</i> (Chinesischer Muntjak)	13	15
1	Heimtierhandel / Aquaristik / Terraristik	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung als (nicht domestizierte) Heimtiere, i.d.R. innerhalb von Gebäuden (terrestrisch oder aquatisch).	<i>Trachemys scripta</i> (Buchstabenschildkröte)	21	18
1	Tierzucht (exkl. Aquakultur und Pelztierfarmen)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Zucht und Nutzung als Arbeitstiere oder Nahrungsquelle.	<i>Lithobates catesbeianus</i> (Ochsenfrosch)	1	1
1	Pelztierfarmen	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung zur Pelzproduktion.	<i>Neovison vison</i> (Mink)	2	3
1	Forstwirtschaft	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung in der Forstwirtschaft.	<i>Populus canadensis</i> (Hybrid-Pappel)	0	15
1	Gartenbau (exkl. Zierpflanzen)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten im Zuge der Züchtung und/oder Nutzung neuer Pflanzenvarietäten im hortikulturellen Gartenbau (z.B. Obstanbau).	<i>Rosa rugosa</i> (Kartoffel-Rose)	0	10
1	Zierarten (Tiere und Pflanzen)	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung als Zierpflanzen und Ziertiere, i.d.R. außerhalb von Gebäuden, z.B. in öffentlichen oder privaten Parks und Gärten (inkl. Gartenteiche).	<i>Lysichiton americanus</i> (Amerikanische Scheinkalla)	19	43

Pfad-Kategorie	Pfad	Beschreibung	Beispiel	Zahl der Nennungen (EU LIST)	Zahl der Nennungen (D-IAS)
1	Forschung und ex-situ Züchtung	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung zu Forschungszwecken und zur ex-situ Züchtung in Laboren.	<i>Percocottus glenii</i> (Amurgrundel)	0	4
1	Lebende Nahrung und Ködertiere	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund ihrer Nutzung als lebende Nahrung für den Menschen, Futtertiere und/oder Ködertiere (z.B. Angelfischerei).	<i>Pseudorasbora parva</i> (Blaubandbärbling)	7	7
1	Andere Gründe	Einführung/Ausbringung gebietsfremder Arten aufgrund anderweitiger Nutzung (z.B. Pflanzen zur Abgrenzung von Grundstücken oder Weideflächen).	–	0	0
2	Mit Material aus Gärtnereien und Baumschulen (z.B. Topferde)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge der Aktivitäten von Gärtnereien und Baumschulen. Dabei werden nicht nur die Pflanzen selbst transportiert, sondern auch das Substrat in dem sie wachsen, welches selbst eine Reihe von Organismen (z.B. Insekten, Pilze, Pflanzensamen) enthalten kann.	<i>Arion vulgaris</i> (Spanische Wegschnecke)	4	44
2	Mit Ködern	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Ködern, z.B. für die Angelfischerei, in und/oder an denen sie sich befinden.	–	0	0
2	In oder an Nahrungsmitteln (inkl. Vorratsschädlinge)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Nahrungsmitteln, z.B. Obst und Gemüse, in und/oder an denen sie sich befinden.	<i>Ludwigia x kentiana</i> (Kents Heusenkraut)	0	4
2	In oder an Tieren (exkl. an Biovektoren)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Tieren, in und/oder an denen sie sich befinden, z.B. Pflanzensamen (jedoch nicht als Parasit, Kommensale, Krankheitserreger in/an ihrem Wirt/Biovektor).	<i>Parthenium hysterophorus</i> (Karottenkraut)	5	4
2	In oder an tierischen Biovektoren	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Tieren (Wirte), in und/oder an denen sie sich als Parasit, Kommensale, Krankheitserreger befinden.	<i>Anguillicoloides crassus</i> (Aal-Schwimmblassenwurm)	0	18

Pfad-Kategorie	Pfad	Beschreibung	Beispiel	Zahl der Nennungen (EU LIST)	Zahl der Nennungen (D-IAS)
2	An lebenden Pflanzen (exkl. an Biovektoren)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von lebenden Pflanzen, in und/oder an denen sie sich befinden, z.B. Insekten und Samen einer anderen Pflanze (jedoch nicht als Parasit, Kommensale, Krankheitserreger in/an ihrem Wirt/Biovektor).	<i>Arion vulgaris</i> (Spanische Wegschnecke)	5	14
2	In oder an pflanzlichen Biovektoren	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Pflanzen (Wirte), in und/oder an denen sie sich als Parasit, Kommensale, Krankheitserreger befinden, z.B. Pilze, Viren, Milben.	<i>Hymenoscyphus fraxineus</i> (Eschentriebsterben)	0	30
2	Verunreinigung von Saatgut, Vogel-Körnerfutter, Besatzmaterial (in der Fischerei) oder ähnlichem	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Saatgut, in dem sie sich befinden, z.B. Samen einer anderen Pflanzenart, Verunreinigungen von Vogel-Körnerfutter, Besatzmaterial (in der Fischerei) oder ähnlichem.	<i>Parthenium hysterophorus</i> (Karottenkraut)	5	3
2	Holzhandel	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Holz, in und/oder an dem sie sich befinden.	<i>Phytophthora alni</i> (Erlensterben)	3	15
2	Verunreinigung von Erdreich, Kies, totem Pflanzenmaterial oder ähnlichem (z.B. im Erd- oder Landschaftsbau)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Erdreich, Kies, totem Pflanzenmaterial oder anderen Pflanzenprodukten (z.B. Heu, Stroh, Gartenabfälle) oder ähnlichem, worin sie sich befinden.	<i>Heracleum persicum</i> (Persischer Bärenklau)	15	26
3	Fischerei- und Angelzubehör	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Angel-, Fischerei- und Aquakulturbzubehör (z.B. Boote, Bojen), in und/oder an dem sie sich befinden, z.B. als Bewuchs.	<i>Ludwigia grandiflora</i> (Großblütiges Heusenkraut)	12	16
3	Fracht-Container	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Containern (z.B. via Seehäfen, Flughäfen oder Bahnhöfen), in und/oder an denen sie sich befinden.	<i>Rattus norvegicus</i> (Wanderratte)	7	15
3	In oder an Flugzeugen	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit Flugzeugen, in und/oder an denen sie sich befinden.	<i>Parthenium hysterophorus</i> (Karottenkraut)	1	0
3	In oder auf Schiffen (exkl. Ballastwasser und am Schiffsrumpf)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit Schiffen, z.B. auf dem Schiff lebende Nagetiere, die von dort an Land gelangen.	<i>Rattus norvegicus</i> (Wanderratte)	15	14

Pfad-Kategorie	Pfad	Beschreibung	Beispiel	Zahl der Nennungen (EU LIST)	Zahl der Nennungen (D-IAS)
3	In oder an Geräten / Maschinen / Ausrüstung	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit Maschine, in und/oder an der sie sich befinden, z.B. Pflanzenteile/-samen oder Insekten.	<i>Pennisetum setaceum</i> (Lampenputzergas)	13	20
3	Organisches Verpackungsmaterial (inkl. Holz)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit organischem Verpackungsmaterial (z.B. unbehandelte Holzpaletten).	<i>Ophiostoma novo-ulmi</i> (Neues Ulmensterben)	2	10
3	In oder an Menschen oder ihrem Gepäck (inkl. Tourismus)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten, die sich in oder an reisenden Personen (z.B. an der Kleidung) oder ihrem Gepäck befinden, insbesondere im Zusammenhang mit Tourismus.	<i>Heracleum persicum</i> (Persischer Bärenklau)	9	8
3	Ballastwasser	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit Ballastwasser (Schifffahrt).	<i>Eriocheir sinensis</i> (Wollhandkrabbe)	3	46
3	Bewuchs / Anlagerung an Schiffsrumpf	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten, die sich an Schiffsrümpfe anlagern (z.B. Muscheln, Algen).	<i>Dreissena polymorpha</i> (Wandermuschel)	4	39
3	In oder an Autos und Zügen (entlang von Straßen und Bahnstrecken)	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit Autos, Lastwagen und Zügen, in und/oder an denen sie sich befinden.	<i>Heracleum persicum</i> (Persischer Bärenklau)	13	19
3	Andere Transportmittel	Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit anderen Transportmitteln, in und/oder an denen sie sich befinden.	<i>Vespa velutina</i> (Asiatische Hornisse)	3	0
4	Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen zwischen Flusseinzugsgebieten / Meeren	Bewegung/Ausbreitung gebietsfremder Arten entlang von Kanälen oder Wasserstraßen, die z.B. Flusseinzugsgebiete, Seen oder Meere miteinander verbinden.	<i>Neogobius melanostomus</i> (Schwarzmundgrundel)	26	60
4	Eigenständige Bewegung entlang terrestrischer Verkehrsinfrastrukturen (z.B. Straßen, Bahntrassen, Tunnel, Landbrücken)	Bewegung/Ausbreitung gebietsfremder Arten entlang terrestrischer Verkehrsinfrastrukturen (z.B. entlang Straßen, Bahntrassen, durch Tunnel zwischen Bergtälern oder über Landbrücken zu Inseln).	<i>Ailanthus altissima</i> (Götterbaum)	6	17

Pfad-Kategorie	Pfad	Beschreibung	Beispiel	Zahl der Nennungen (EU LIST)	Zahl der Nennungen (D-IAS)
5	Zutreffend für gebietsfremde Arten, die sich eigenständig aus direkt benachbarten Gebieten in das Bezugsgebiet bewegen, nachdem sie über einen der obigen Pfade in das benachbarte Gebiet eingeführt wurden	Bezieht sich auf gebietsfremde Arten, deren Ausbreitung im Bezugsgebiet eigenständig geschieht bzw. die sich eigenständig aus direkt benachbarten Gebieten in das Bezugsgebiet bewegen, nachdem sie über einen der obigen Pfade in ein anderes Gebiet eingeführt wurden.	<i>Nyctereutes procyonoides</i> (Marderhund)	63	121
6	Unbekannt			0	15

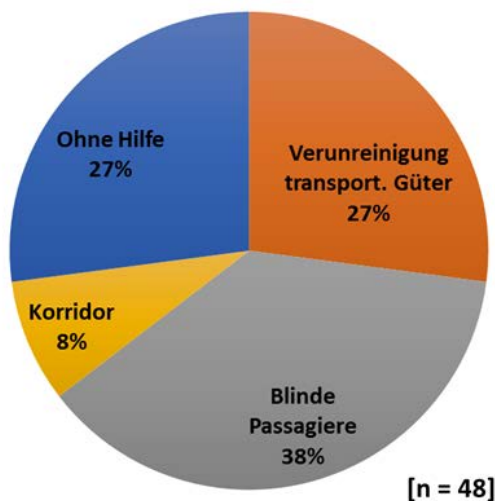
3.1 Die Pfad-Kategorien und Pfade der 37 Arten der Unionsliste

Die Pfade „Ohne Hilfe durch den Menschen“, „Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen“, „Heimtierhandel/Aquaristik/Terraristik“ und „Zierarten (Tiere und Pflanzen)“ weisen die größte Summe an Arten auf, die diese Pfade mit Sicherheit oder hoher Wahrscheinlichkeit nutzen. Bei getrennter Betrachtung der drei Phasen Einführung, Ausbringung und Ausbreitung zeigen sich allerdings einige Unterschiede.

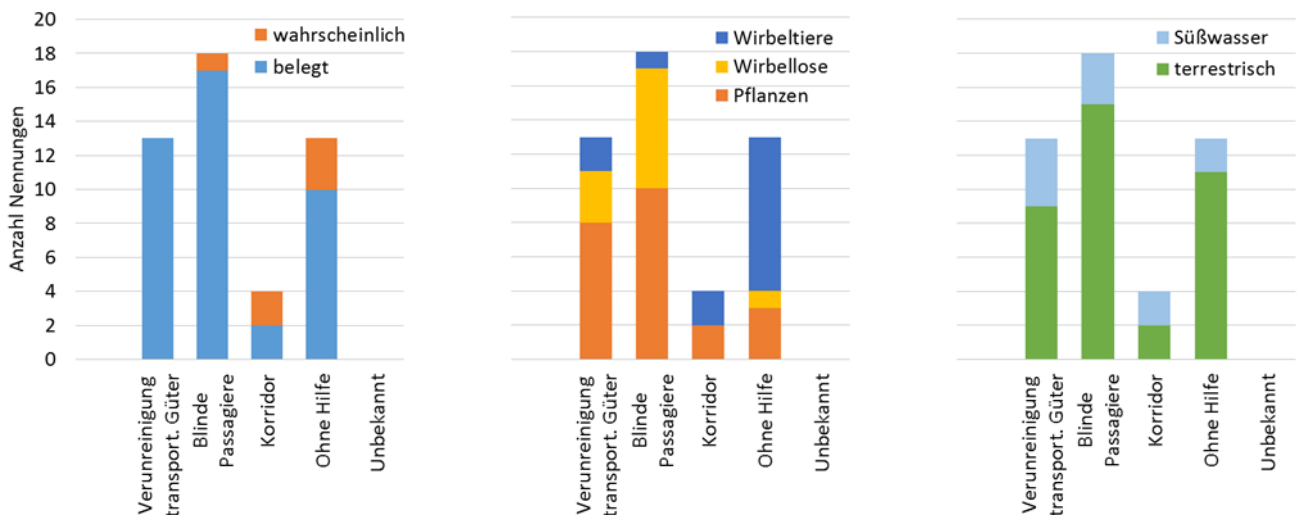
Einführung: Pfade in der Kategorie „Blinde Passagiere“ (z. B. „In oder an Geräten/Ausrüstung“ und „In oder an Autos und Zügen“) dominieren mit 38 % (Abb. 1a, Tab. 3), wobei diese Pfade überwiegend für terrestrische Pflanzen zutreffen, gefolgt von der Kategorie „Verunreinigung transportierter Güter“ mit 27 % (z. B. „Verunreinigung von Erdreich, u.ä.“ und „Verunreinigung von Saatgut, Vogel-Körnerfutter, Besatzmaterial (in der Fischerei), u.ä.“) (Abb. 1d und 1e). In 13 Fällen ist es belegt oder wahrscheinlich (z. B. für sieben Arten, die noch nicht in Deutschland vorkommen), dass sie eigenständig aus direkt benachbarten Gebieten, wo sie gebietsfremd sind, nach Deutschland gelangt sind oder gelangen könnten („Ohne Hilfe durch den Menschen“, 27 %, z. B. *Corvus splendens*, *Vespa velutina*; Abb. 1c). Bei Wirbellosen und Pflanzen dominieren die Kategorien „Blinde Passagiere“ und „Verunreinigung“ (Abb. 1b).

a)

Nicht vorsätzliche Einführung (EU LIST: 37 Arten)



b)



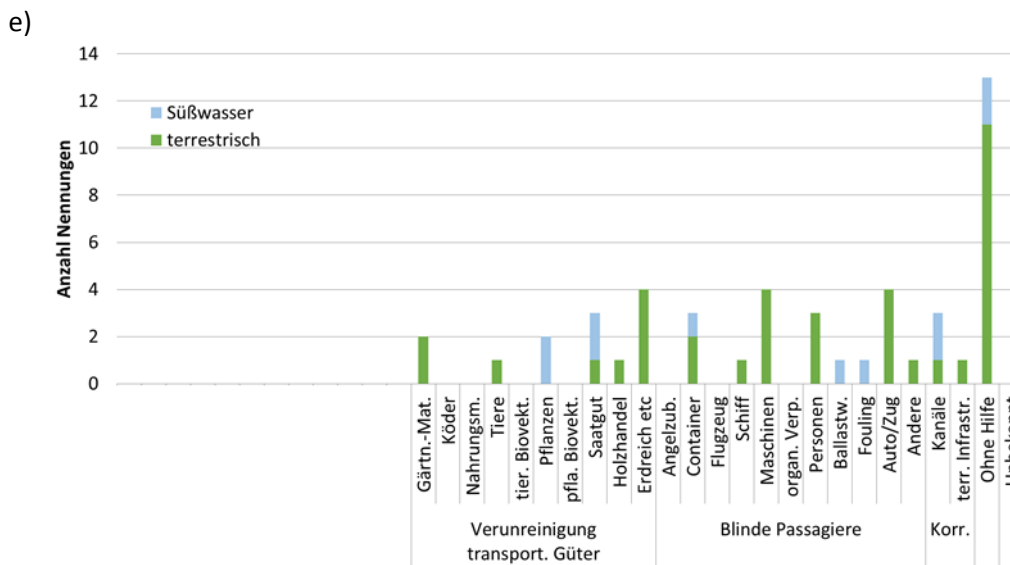
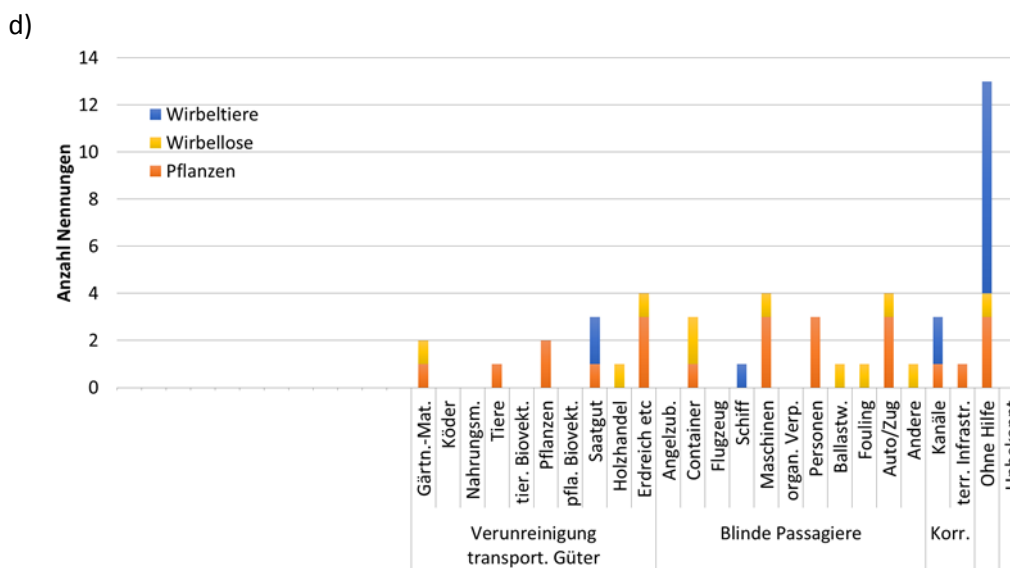
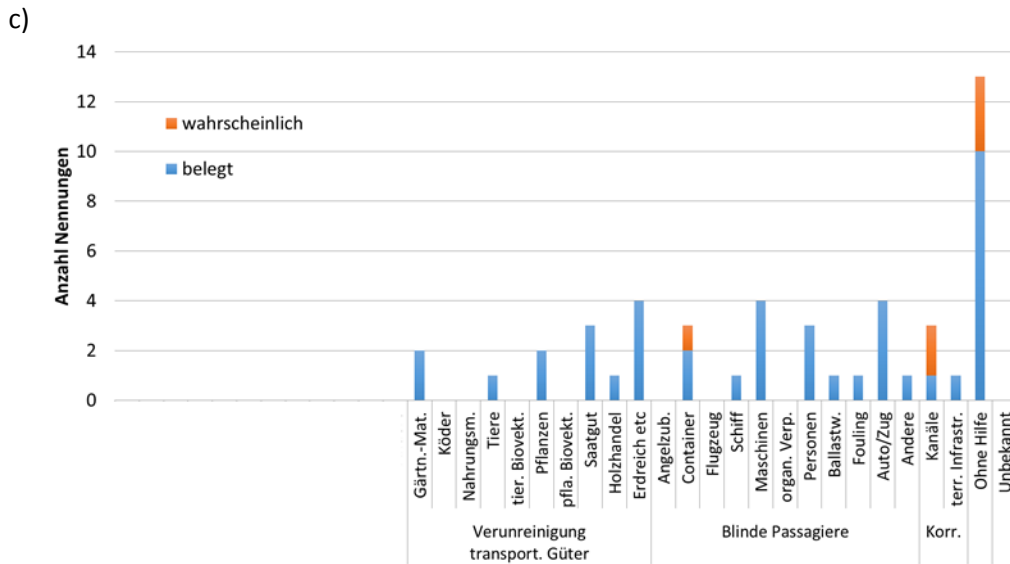
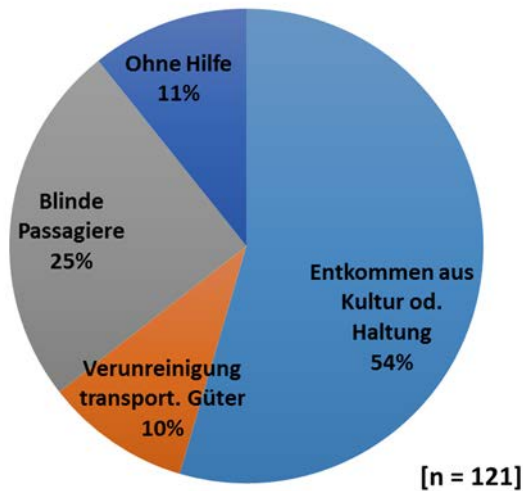


Abbildung 1: a) Relative Anteile (Kreisdiagramme) und b) absolute Häufigkeiten (Balkendiagramme) der Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Einführung der 37 Arten der Unionsliste. [n=48] steht für die Gesamtzahl an Pfad-Nennungen für die Arten in dieser Phase, die größer ist als die Gesamtzahl der Arten, da einige Arten mehrere Pfade benutzen. Bei den absoluten Häufigkeiten wird zwischen c) belegten und wahrscheinlichen Pfaden, d) taxonomischen Gruppen und e) Lebensräumen unterschieden.

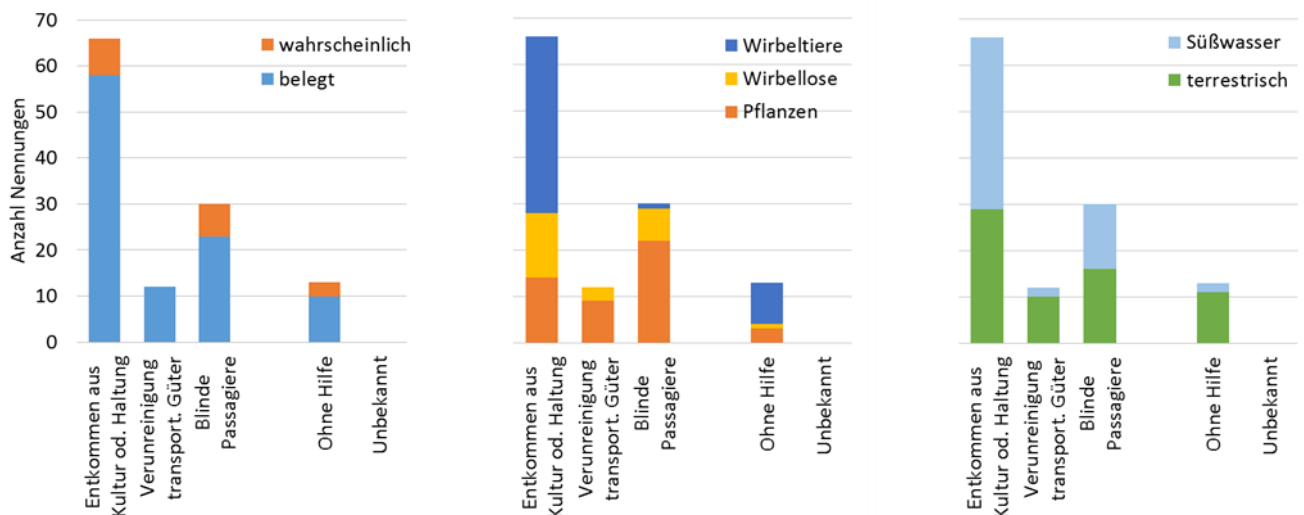
Ausbringung: Mit 54 % dominieren die Pfade in der Kategorie „Entkommen aus Kultur oder Haltung“, z. B. „Heimtierhandel/Aquaristik/Terraristik“ mit einem deutlichen Schwerpunkt auf aquatischen Arten, „Zierarten (Tiere und Pflanzen)“ und „Botanischer Garten/Tierpark (Zoo, Gehege, öffentliche Aquarien)“, wobei mehr als die Hälfte der Nennungen auf Wirbeltiere entfallen (Abb. 2a, 2b, 2d, 2e, Tab. 3). „Blinde Passagiere“ folgen mit 25 % und setzen sich zu gleichen Anteilen aus terrestrischen und aquatischen Arten zusammen (Abb. 2b).

a)

Nicht vorsätzliche Ausbringung (EU LIST: 37 Arten)



b)



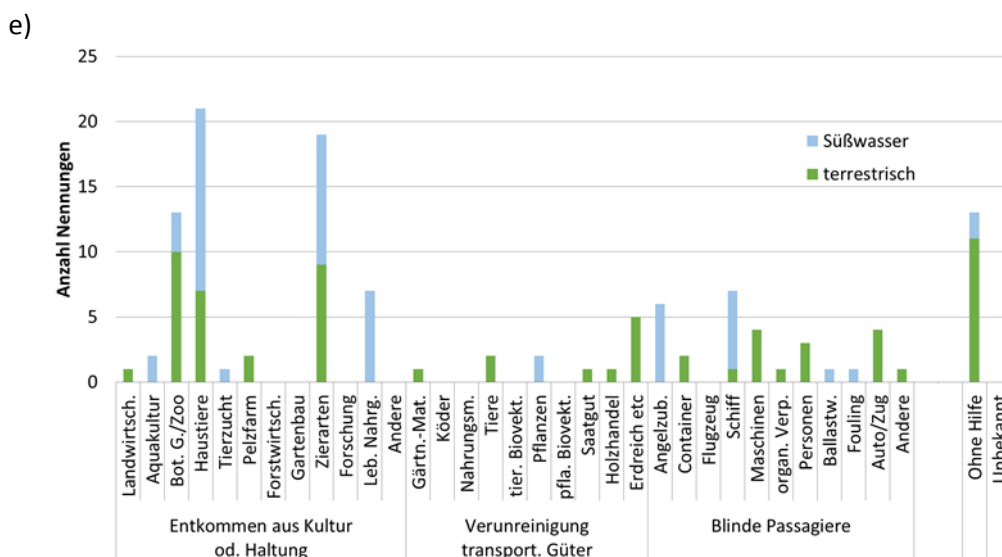
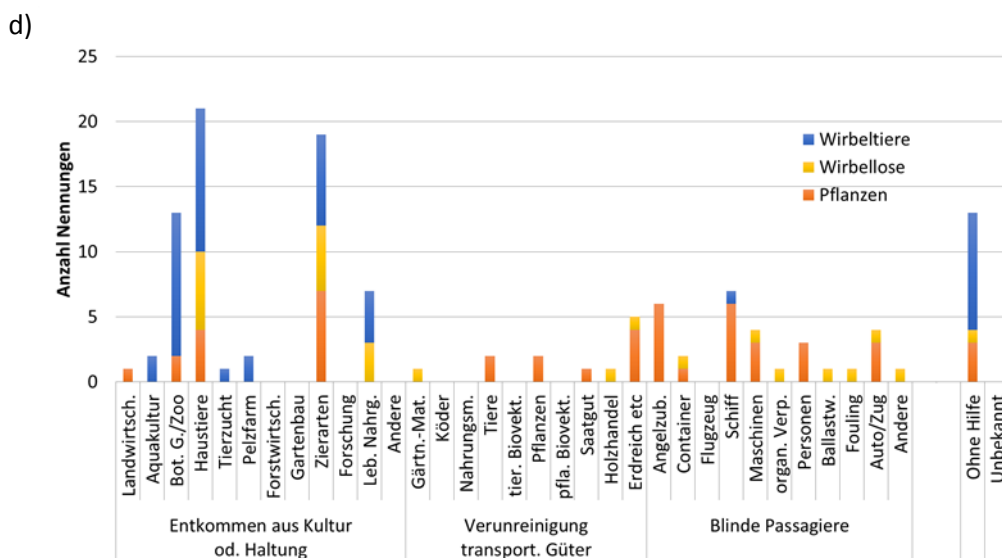
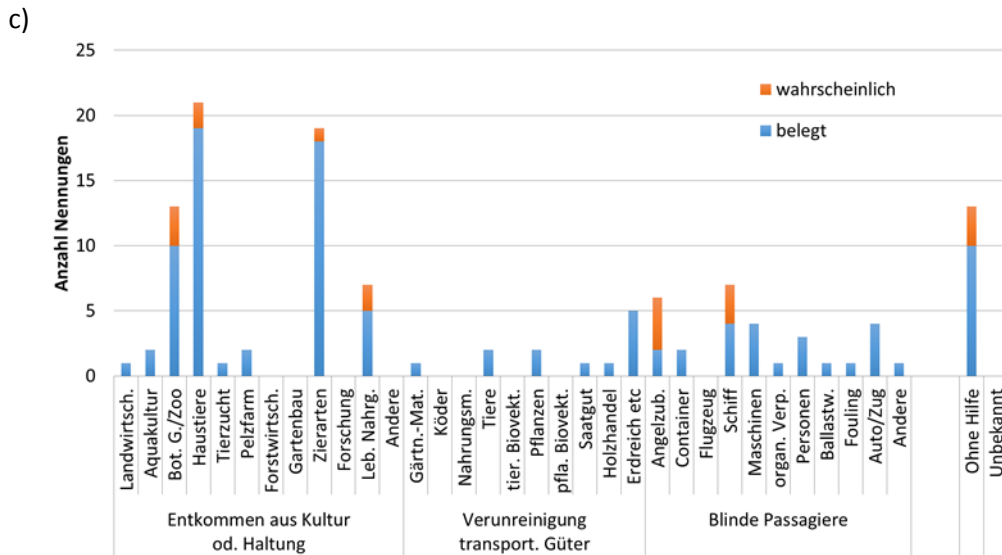
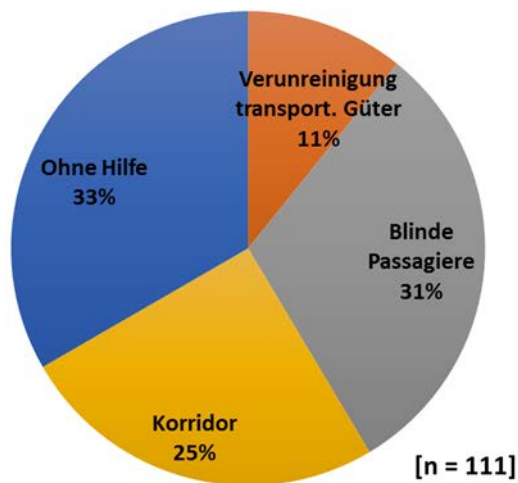


Abbildung 2: a) Relative Anteile (Kreisdiagramme) und b) absolute Häufigkeiten (Balkendiagramme) der Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Ausbringung der 37 Arten der Unionsliste. [n=121] steht für die Gesamtzahl an Pfad-Nennungen für die Arten in dieser Phase, die größer ist als die Gesamtzahl der Arten, da einige Arten mehrere Pfade benutzen. Bei Arten, die noch nicht in Deutschland vorkommen, wurden vermutete Pfade vergeben. Bei den absoluten Häufigkeiten wird zudem zwischen c) belegten und wahrscheinlichen Pfad-Kategorien, d) taxonomischen Gruppen und e) Lebensräumen unterschieden.

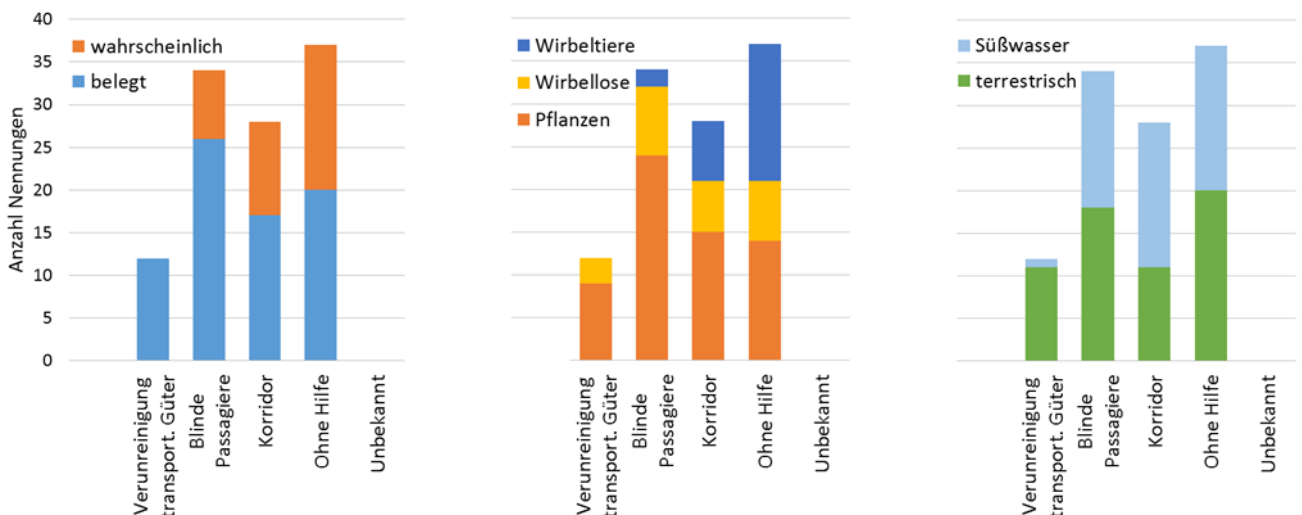
Ausbreitung: Die eigenständige Ausbreitung „Ohne Hilfe durch den Menschen“ (33 %) und entlang von „Korridoren“ (Kanäle oder terrestrische Infrastrukturen) (25 %), dominiert (Abb. 3a, Tab. 3). Diese Pfade werden von Pflanzen und Tieren etwa gleich häufig genutzt, ebenso von terrestrischen wie von limnischen Organismen (Abb. 3b, 3d, 3e). Es folgen mehrere Pfade in fast gleichrangiger Bedeutung in den Pfad-Kategorien „Blinde Passagiere“ („In oder auf Schiffen“, „Fischerei- und Angelzubehör“, „In oder an Geräten/Ausrüstung“, „In oder an Autos und Zügen“) und „Verunreinigung“ („Verunreinigung von Erdreich, u.ä.“) (Abb. 3a, 3c). Der Anteil nur als „wahrscheinlich“ eingestufter Pfadzuweisungen ist hier größer als bei den Phasen der Einbringung und Ausbringung (Abb. 3b, 3c).

a)

Nicht vorsätzliche Ausbreitung (EU LIST: 37 Arten)



b)



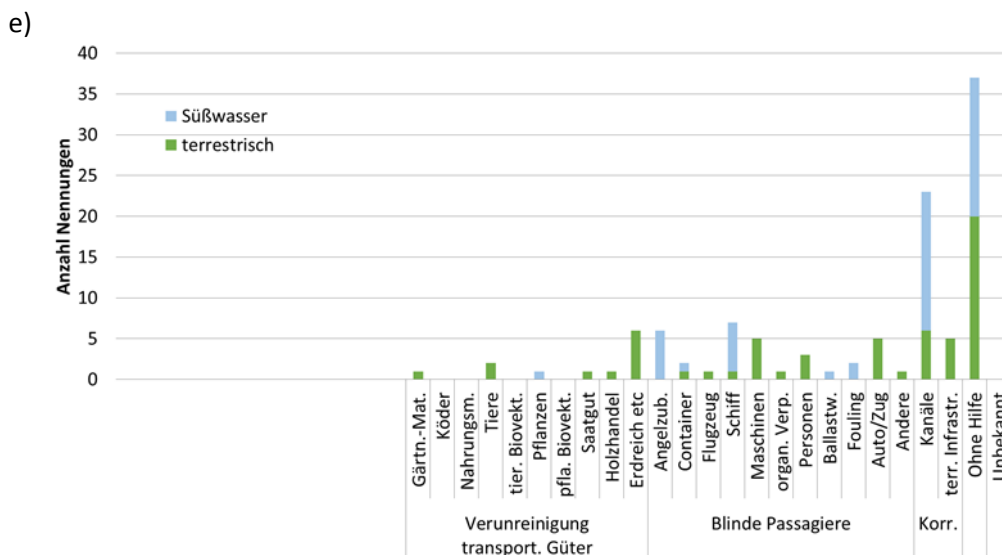
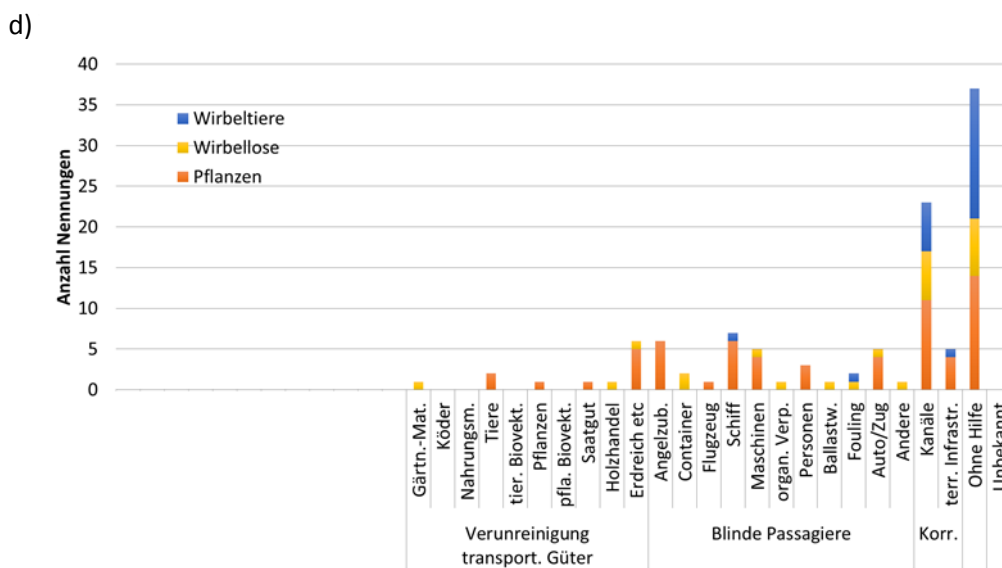
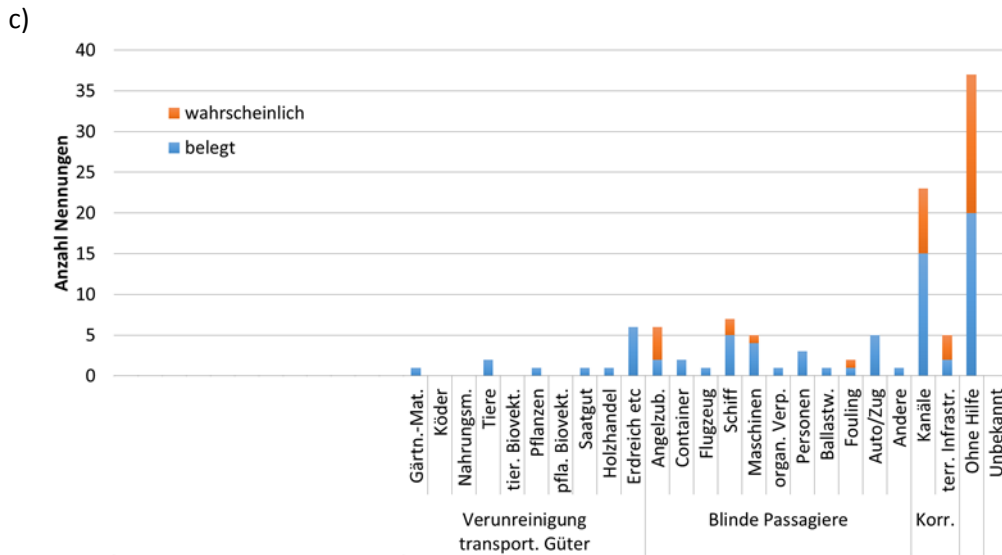


Abbildung 3: a) Relative Anteile (Kreisdiagramme) und b) absolute Häufigkeiten (Balkendiagramme) der Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Ausbreitung der 37 Arten der Unionsliste. [n=111] steht für die Gesamtzahl an Pfad-Nennungen für die Arten in dieser Phase, die größer ist als die Gesamtzahl der Arten, da einige Arten mehrere Pfade benutzen. Bei Arten, die noch nicht in Deutschland vorkommen, wurden vermutete Pfade vergeben. Bei den absoluten Häufigkeiten wird zudem zwischen c) belegten und wahrscheinlichen Pfaden, d) taxonomischen Gruppen und e) Lebensräumen unterschieden.

Tabelle 3: Absolute Häufigkeiten und relative Anteile von Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Einführung, Ausbringung und Ausbreitung der 37 Arten auf der Liste der invasiven gebietsfremden Arten von unionsweiter Bedeutung (EU-LIST), von 93 Arten, die in Deutschland als invasiv gelten (IAS DTLD) sowie deren Summe (ALLE, 130 Arten).

	EU-LIST (37 Arten)		IAS DTLD (93 Arten)		ALLE (130 Arten)	
	Anzahl Nennungen	% innerhalb Phase	Anzahl Nennungen	% innerhalb Phase	Anzahl Nennungen	% innerhalb Phase
Einführungs-Phase						
Verunreinigung transport. Güter	13	27,1%	60	40,8%	73	37,4%
Blinde Passagiere	18	37,5%	50	34,0%	68	34,9%
Korridor	4	8,3%	13	8,8%	17	8,7%
Ohne Hilfe	13	27,1%	14	9,5%	27	13,8%
Unbekannt	0	0,0%	10	6,8%	10	5,1%
<i>Subtotal Einführung</i>	<i>48</i>	<i>100,0%</i>	<i>147</i>	<i>100,0%</i>	<i>195</i>	<i>100,0%</i>

Ausbringungs-Phase						
Entkommen aus Kultur oder Haltung	66	54,5%	128	49,4%	194	51,0%
Verunreinigung transport. Güter	12	9,9%	52	20,1%	64	16,8%
Blinde Passagiere	30	24,8%	61	23,5%	91	23,9%
Ohne Hilfe	13	10,7%	14	5,4%	27	7,1%
Unbekannt	0	0,0%	4	1,5%	4	1,0%
<i>Subtotal Ausbringung</i>	<i>121</i>	<i>100,0%</i>	<i>259</i>	<i>100,0%</i>	<i>380</i>	<i>100,0%</i>

Ausbreitungs-Phase						
Verunreinigung transport. Güter	12	10,8%	46	16,4%	58	14,8%
Blinde Passagiere	34	30,6%	76	27,1%	110	28,1%
Korridor	28	25,2%	64	22,9%	92	23,5%
Ohne Hilfe	37	33,3%	93	33,2%	130	33,2%
Unbekannt	0	0,0%	1	0,4%	1	0,3%
<i>Subtotal Ausbreitung</i>	<i>111</i>	<i>100,0%</i>	<i>280</i>	<i>100,0%</i>	<i>391</i>	<i>100,0%</i>

Nach Ausschluss der in Deutschland bereits weit verbreiteten Arten der Unionsliste (Tab. 1) zeigten sich für die übrigen Arten (d. h. kleinräumig verbreitet, fehlend, unbekannt; n=30) für alle drei Invasionsphasen nur geringfügige Unterschiede in der Bedeutung der einzelnen Pfade (Abb. 4-6) im Vergleich zu den oben beschriebenen Ergebnissen.

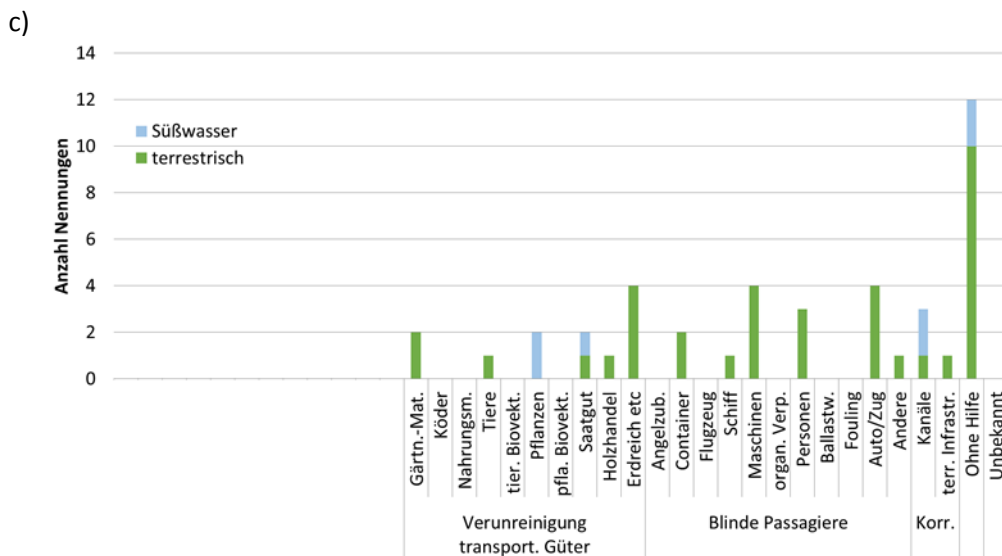
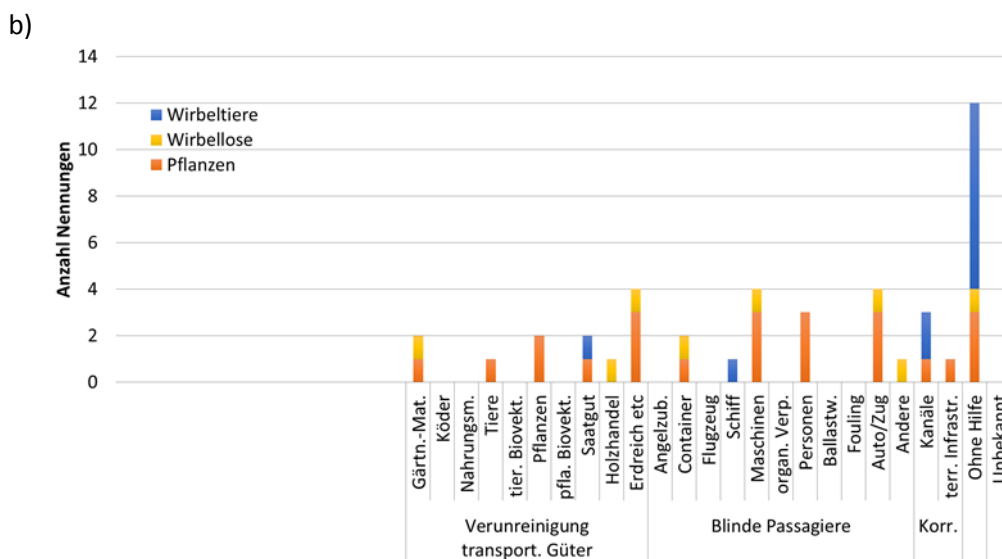
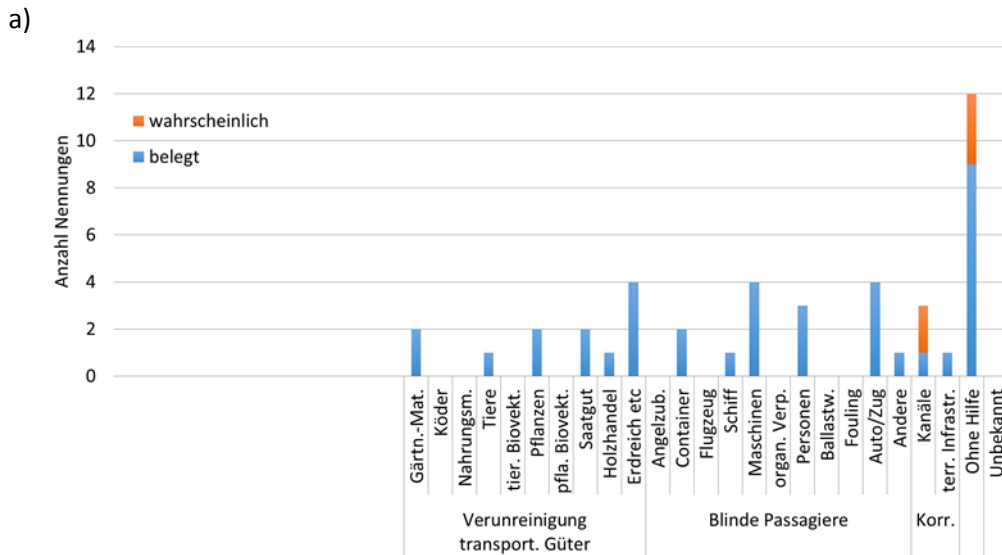


Abbildung 4: Anzahl der Nennungen ($n=43$) der Einführungspfade und Pfad-Kategorien für a) belegte und wahrscheinliche Pfade, b) taxonomische Gruppen und c) Lebensräume der 30 Arten der Unionsliste mit den Verbreitungsangaben kleinräumig verbreitet, fehlend oder unbekannt.

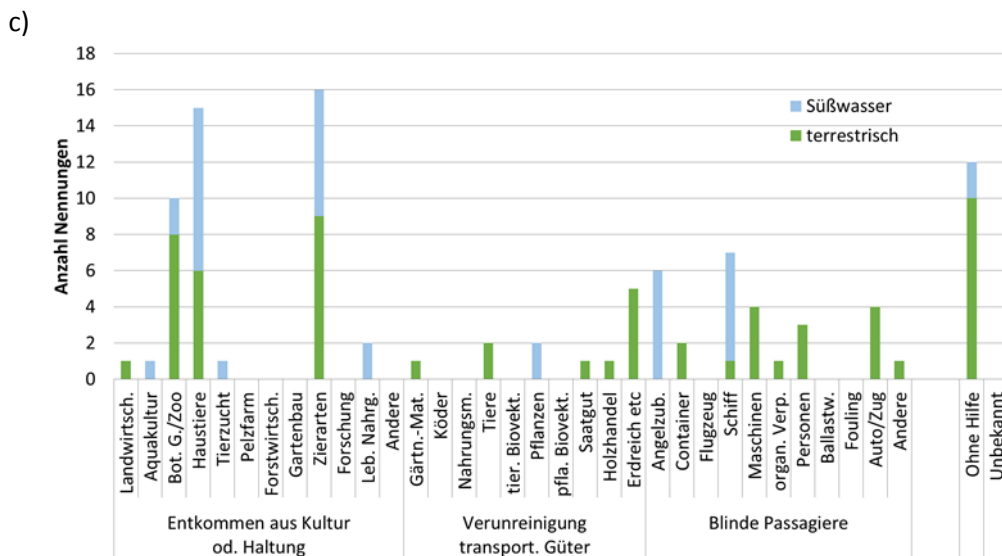
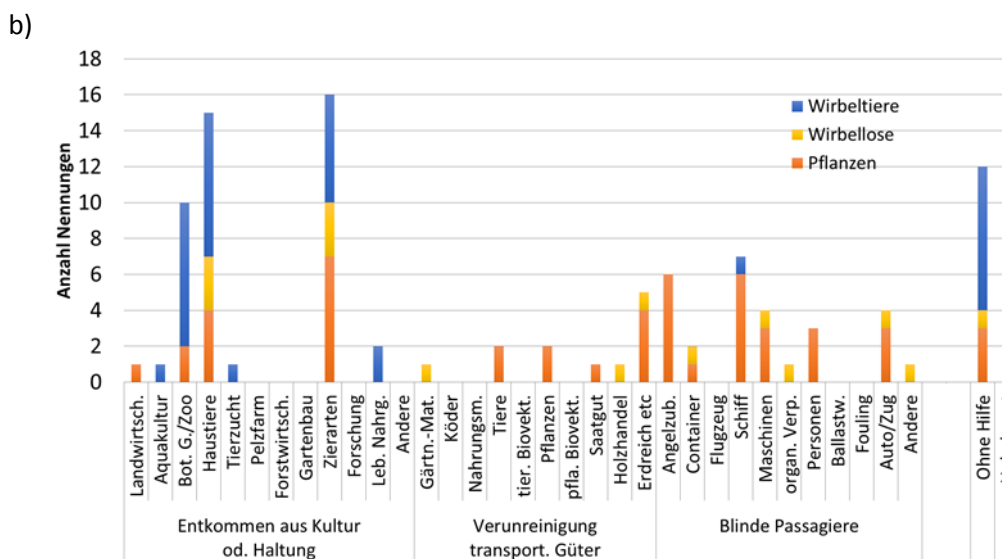
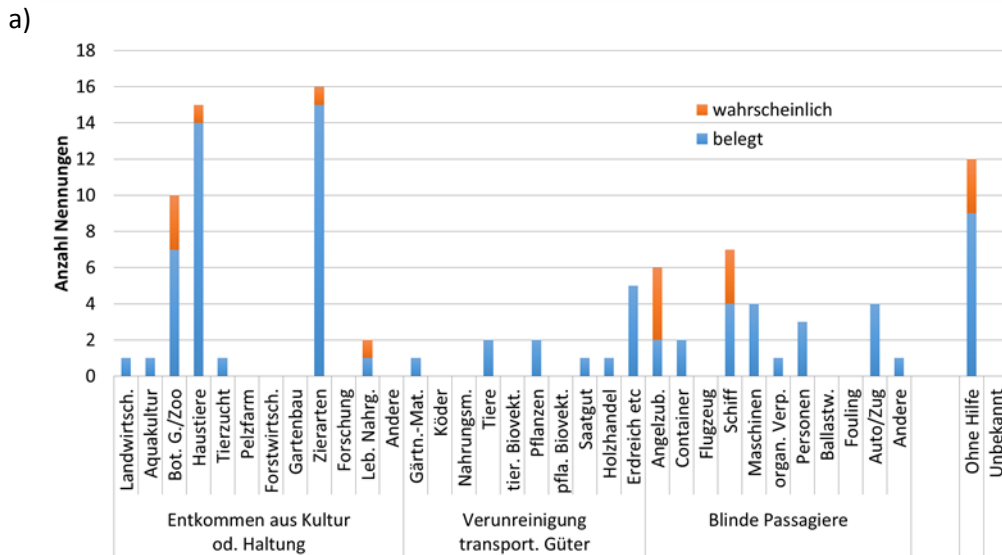


Abbildung 5: Anzahl der Nennungen ($n=98$) der Ausbringungspfade und Pfad-Kategorien für a) belegte und wahrscheinliche Pfade, b) taxonomische Gruppen und c) Lebensräume der 30 Arten der Unionsliste mit den Verbreitungsangaben kleinräumig verbreitet, fehlend oder unbekannt.

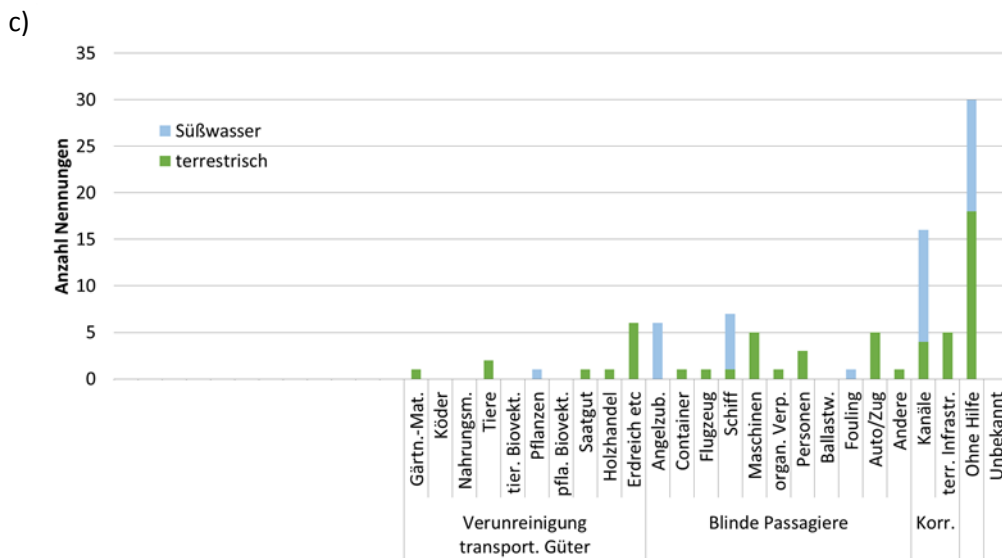
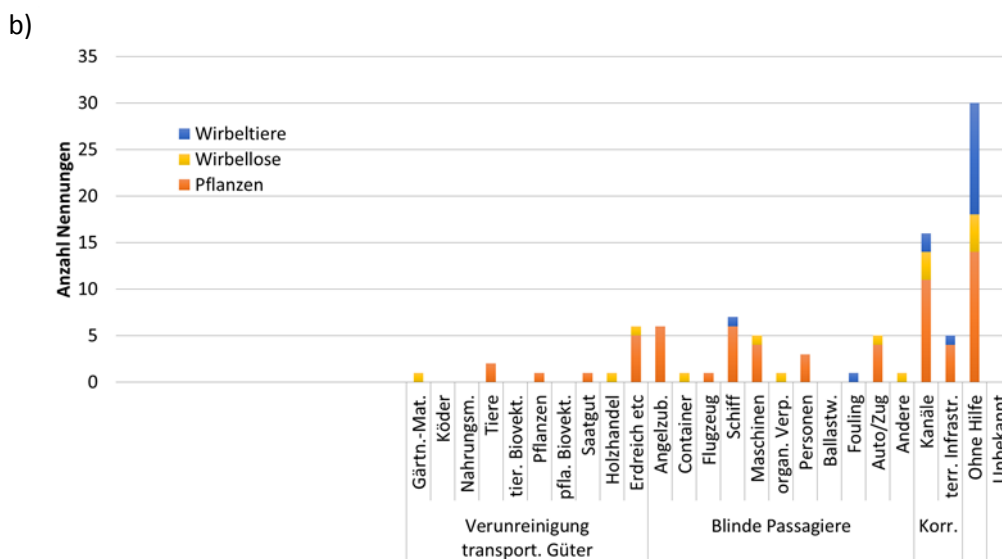
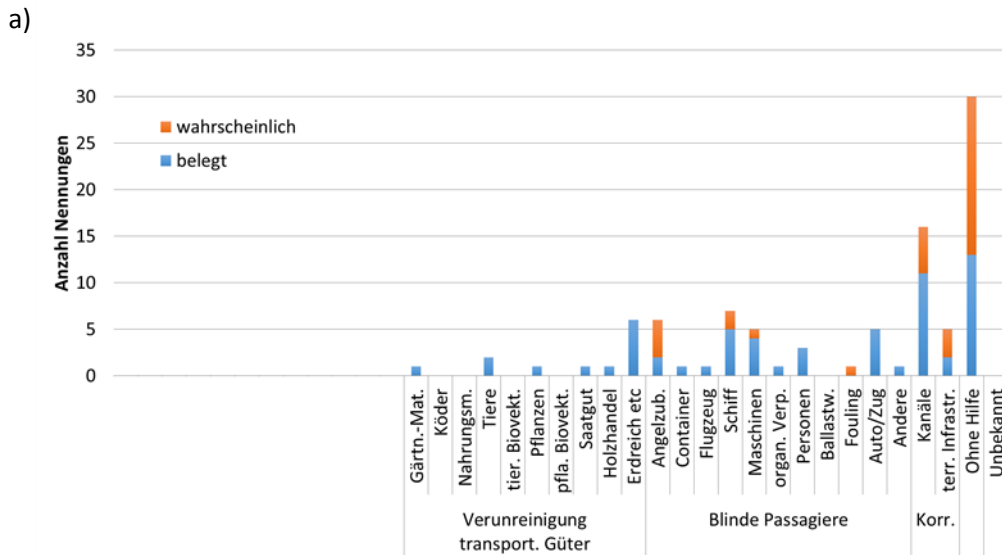


Abbildung 6: Anzahl der Nennungen ($n=94$) der Ausbreitungspfade und Pfad-Kategorien für a) belegte und wahrscheinliche Pfade, b) taxonomische Gruppen und c) Lebensräume der 30 Arten der Unionsliste mit den Verbreitungsangaben kleinräumig verbreitet, fehlend oder unbekannt.

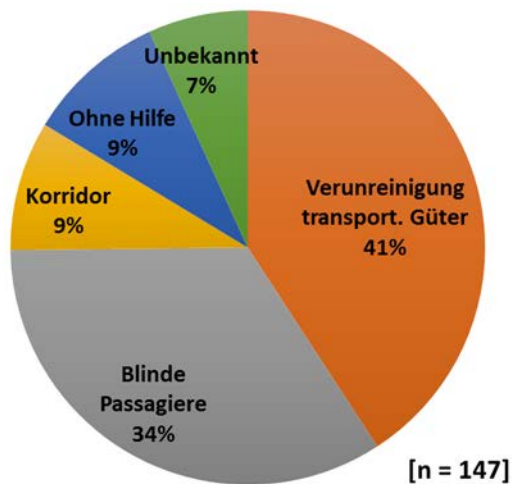
3.2 Die Pfad-Kategorien und Pfade der 93 in Deutschland invasiven Arten

Die Analyse der Pfade dieser Artengruppe erbrachte ähnliche Ergebnisse wie für die 37 Arten der Unionsliste, zeigte jedoch außerdem eine hohe Relevanz für „Ballastwasser“ und „Material aus Gärtnereien und Baumschulen“. Auch hier zeigen sich bei getrennter Betrachtung der drei Phasen Unterschiede.

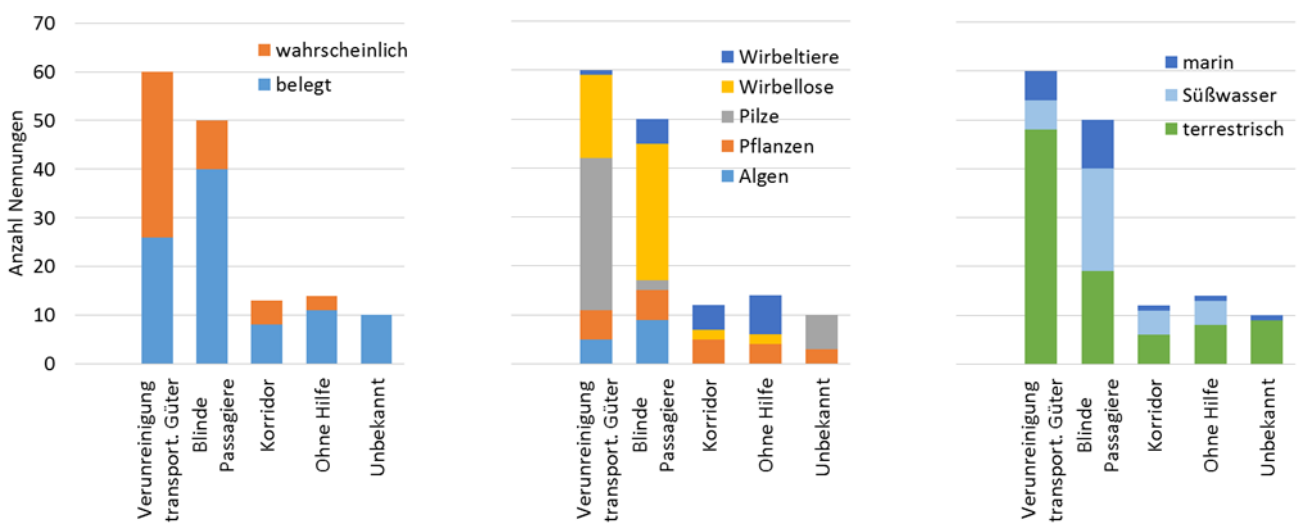
Einführung: Es dominieren die Pfad-Kategorien „Verunreinigungen“ (41 %; „Material aus Gärtnereien und Baumschulen“, „pflanzliche Biovektoren“, mit einem vergleichsweise hohen Anteil von „wahrscheinlichen“ Nennungen; überwiegend Pilze) und „Blinde Passagiere“ (34 %; „Ballastwasser“, „Bewuchs/Anlagerung an Schiffsrumpf“; überwiegend Wirbellose) (Abb. 7a-c, Tab. 3). 14 Arten (10 %) sind eigenständig aus direkt benachbarten Gebieten, wo sie gebietsfremd sind, nach Deutschland gelangt und für 10 Arten (7 %) ist der Einführungspfad nicht bekannt (Abb. 7).

a)

Nicht vorsätzliche Einführung (IAS DTL: 93 Arten)



b)



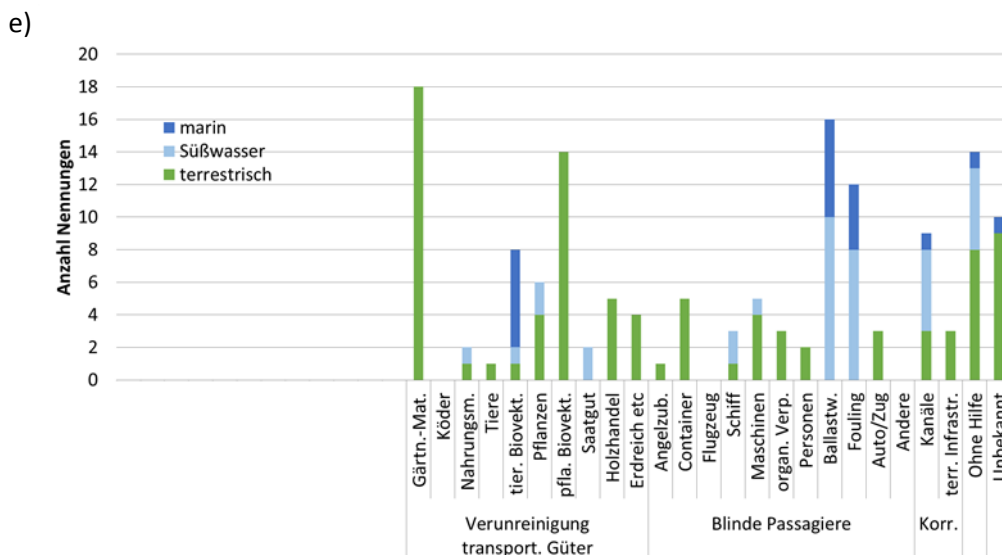
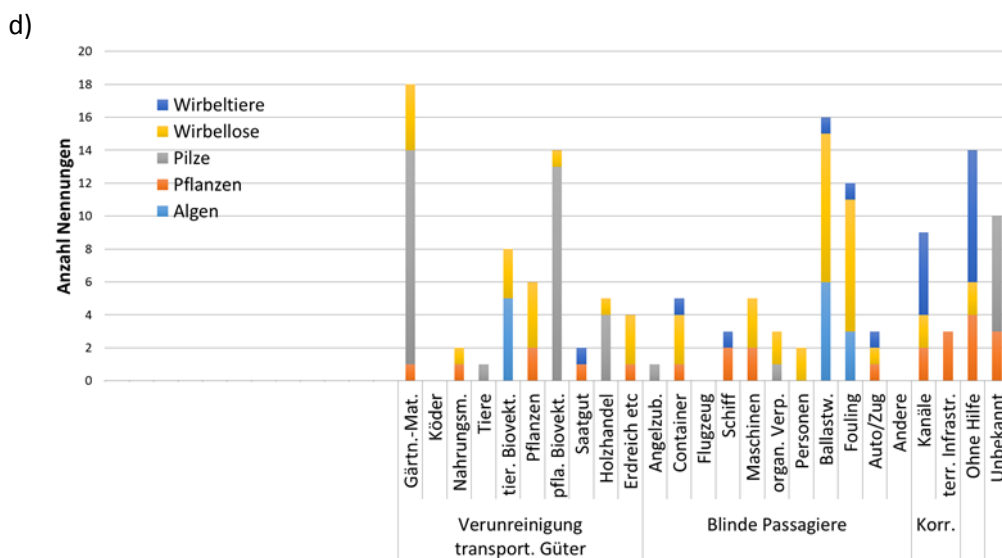
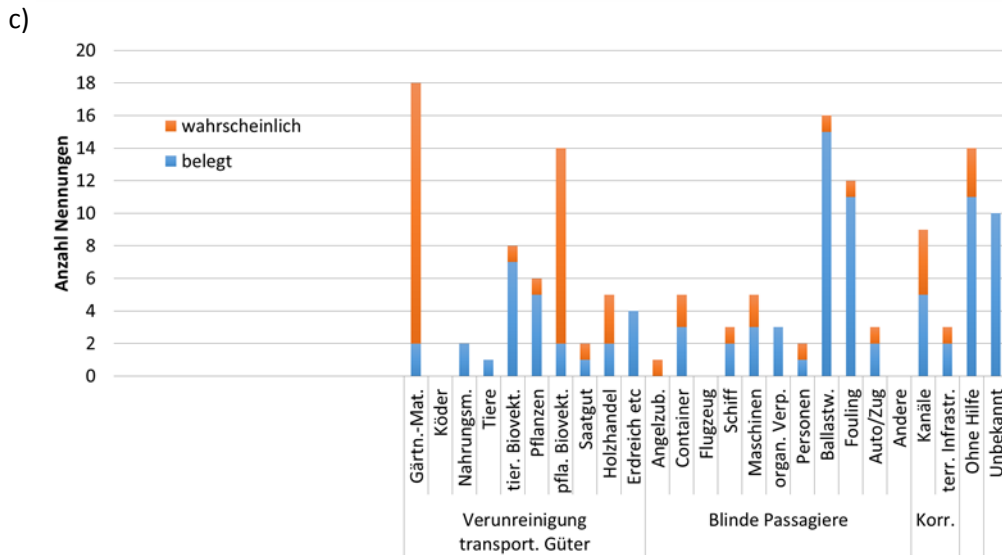
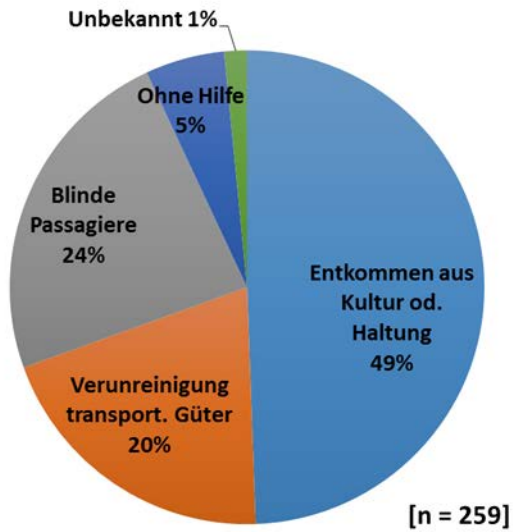


Abbildung 7: a) Relative Anteile (Kreisdiagramme) und b) absolute Häufigkeiten (Balkendiagramme) der Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Einführung der 93 in Deutschland invasiven Arten. [n=147] steht für die Gesamtzahl an Pfad-Nennungen für die Arten in dieser Phase, die größer ist als die Gesamtzahl der Arten, da einige Arten mehrere Pfade benutzen. Bei Arten, die noch nicht in Deutschland vorkommen, wurden vermutete Pfade vergeben. Bei den absoluten Häufigkeiten wird zudem zwischen c) belegten und wahrscheinlichen Pfaden, d) taxonomischen Gruppen und e) Lebensräumen unterschieden.

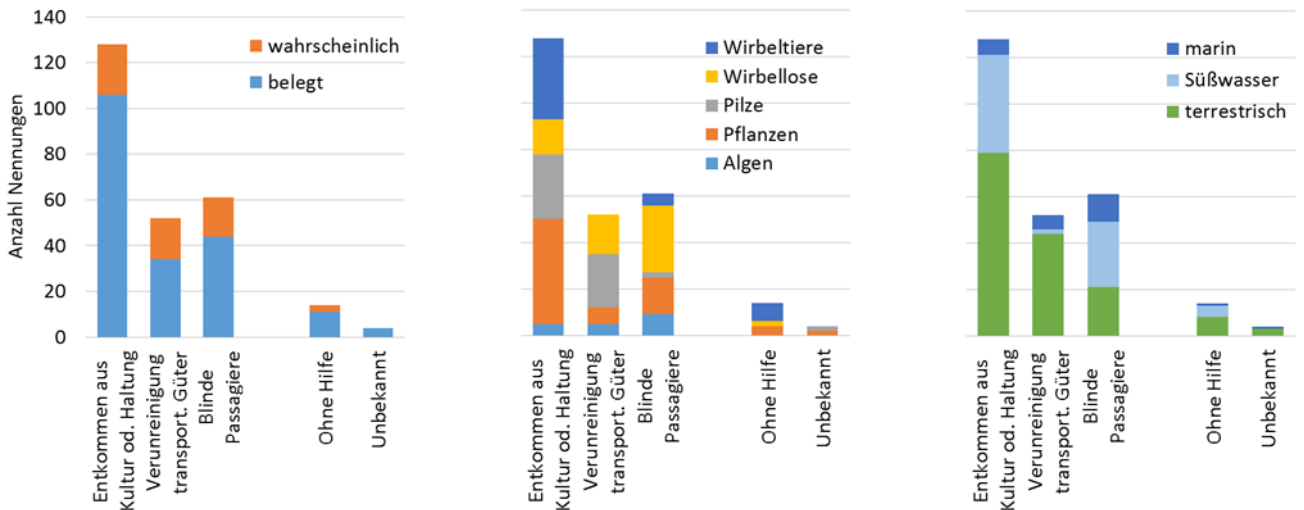
Ausbringung: Mit 49 % dominiert die Pfad-Kategorie „Entkommen aus Kultur oder Haltung“ und darin der Pfad „Zierarten (Tiere und Pflanzen)“ (Abb. 8a, 8c, Tab. 3). Hier dominieren terrestrische Pflanzen (Abb. 8d). Es folgen Pfade der Kategorien „Blinde Passagiere“ (24 %, z.B. „Ballastwasser“ und „Bewuchs / Anlagerung an Schiffsrumpf“, v.a. marine und limnische Wirbellose und Algen; Abb. 8a, 8d, 8e) und „Verunreinigungen“ (20 %) (Abb. 8a, 8b, 8c, Tab. 3).

a)

Nicht vorsätzliche Ausbringung (IAS DTLTD: 93 Arten)



b)



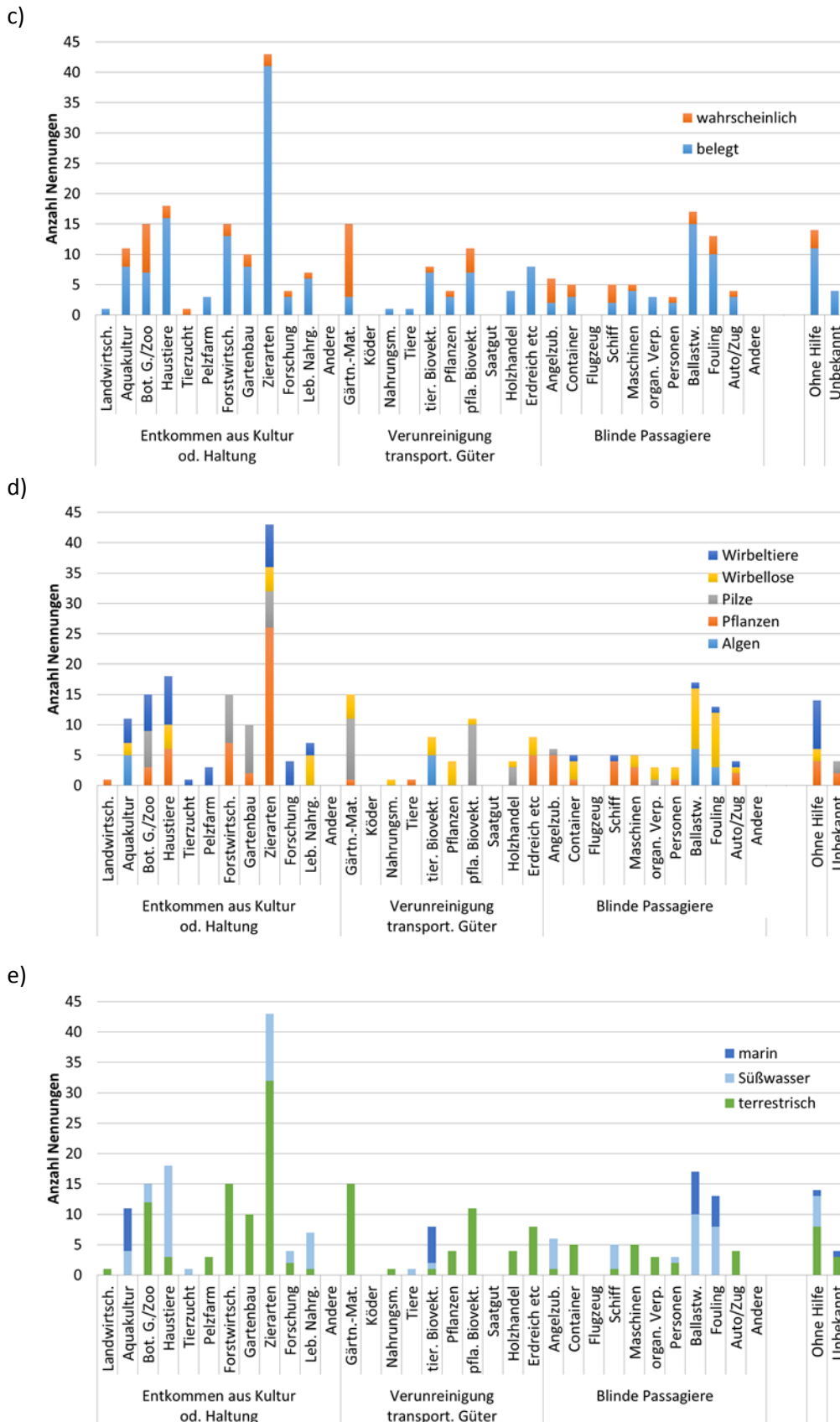
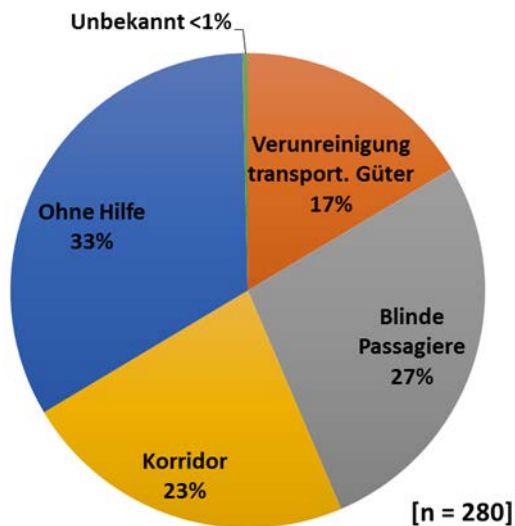


Abbildung 8: a) Relative Anteile (Kreisdiagramme) und b) absolute Häufigkeiten (Balkendiagramme) der Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Ausbringung der 93 in Deutschland invasive Arten. [n=259] steht für die Gesamtzahl an Pfad-Nennungen für die Arten in dieser Phase, die größer ist als die Gesamtzahl der Arten, da einige Arten mehrere Pfade benutzen. Bei Arten, die noch nicht in Deutschland vorkommen, wurden vermutete Pfade vergeben. Bei den absoluten Häufigkeiten wird zudem zwischen c) belegten und wahrscheinlichen Pfad-Kategorien, d) taxonomischen Gruppen und e) Lebensräumen unterschieden.

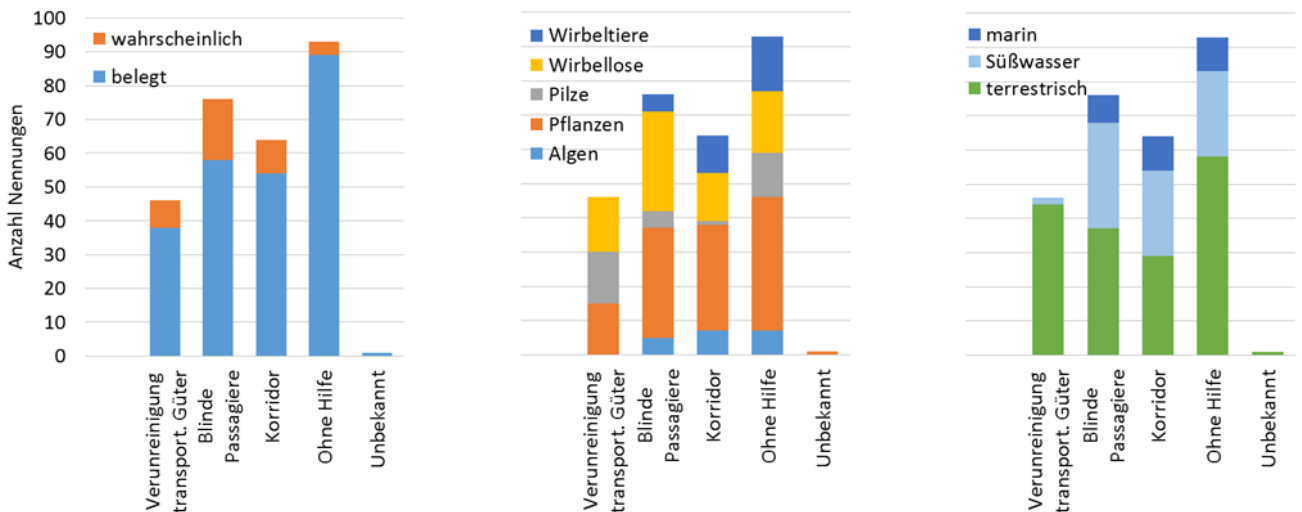
Ausbreitung: Es dominieren die Pfade mit eigenständiger Ausbreitung („Ohne Hilfe durch den Menschen“, 33 %; „Korridor“, 23 %, hier vor allem Kanäle und Wasserstraßen; Abb. 9a, 9b, Tab. 3), wobei aquatische Arten hier einen vergleichsweise großen Anteil ausmachen (Abb. 9b). Ebenfalls bedeutend sind die Pfad-Kategorien „Blinde Passagiere“ (27 %, z. B. „Ballastwasser“ und „Bewuchs/Anlagerung an Schiffsrumpf“; etwa zur Hälfte aquatische Arten) und „Verunreinigung“ (17 %, fast ausschließlich terrestrische Arten; Abb. 9).

a)

Nicht vorsätzliche Ausbreitung (IAS DTL: 93 Arten)



b)



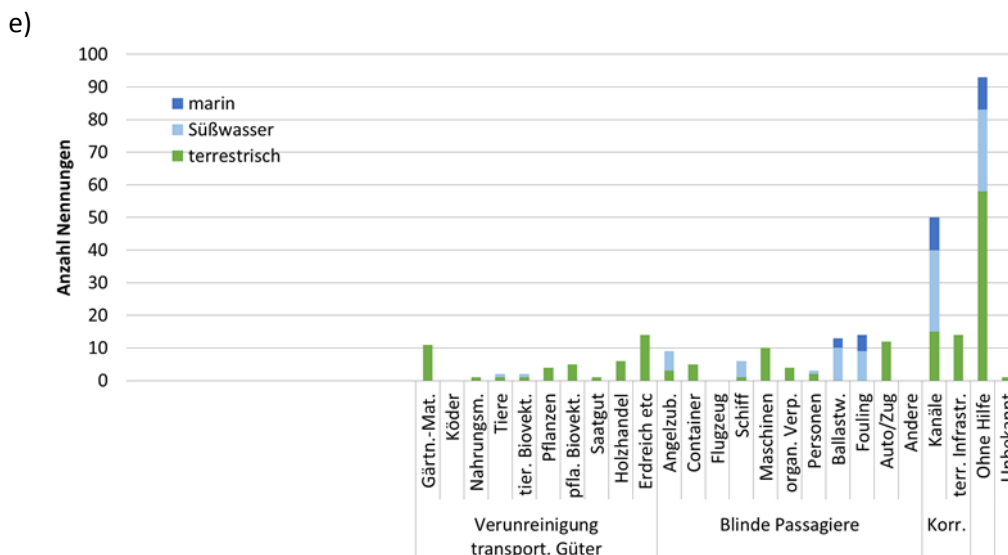
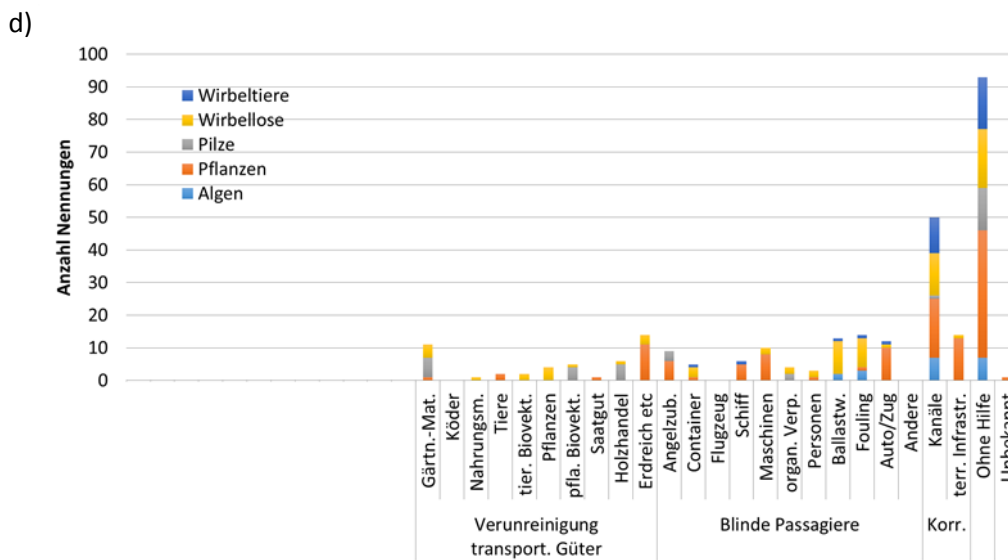
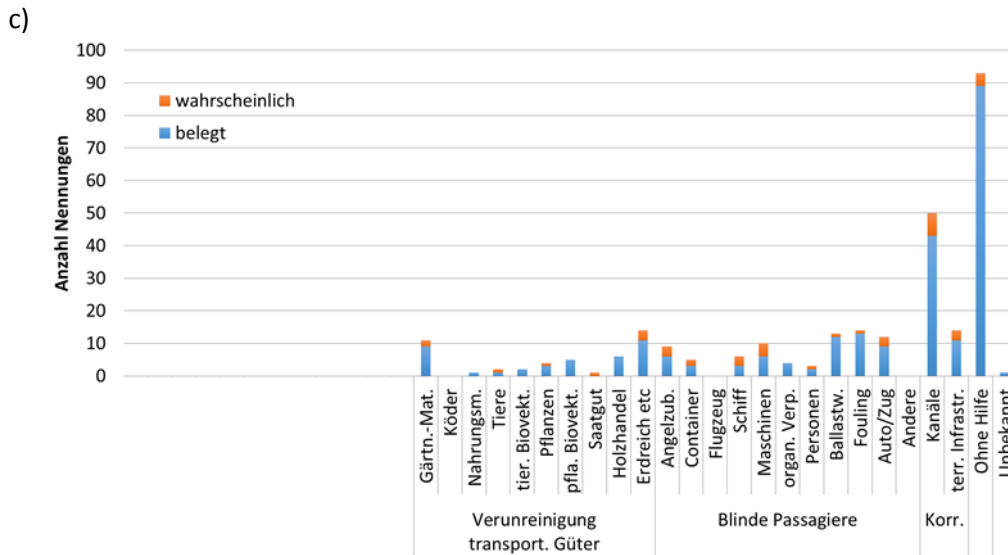


Abbildung 9: a) Relative Anteile (Kreisdiagramme) und b) absolute Häufigkeiten (Balkendiagramme) der Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Ausbreitung der 93 in Deutschland invasiven Arten. [n=280] steht für die Gesamtzahl an Pfad-Nennungen für die Arten in dieser Phase, die größer ist als die Gesamtzahl der Arten, da einige Arten mehrere Pfade benutzen. Bei Arten, die noch nicht in Deutschland vorkommen, wurden vermutete Pfade vergeben. Bei den absoluten Häufigkeiten wird zudem zwischen c) belegten und wahrscheinlichen Pfad-Kategorien, d) taxonomischen Gruppen und e) Lebensräumen unterschieden.

In der Zusammenschau der Daten wird deutlich, dass zwischen den Ausbringungs- und Ausbreitungspfaden der Arten der Unionsliste und der in Deutschland invasiven Arten nur geringfügige Unterschiede bestehen. Bei den Einführungspfaden ist der Anteil der Kategorie „Verunreinigung“ bei den invasiven Arten etwas größer, und es gibt einen höheren Anteil an „wahrscheinlichen“ und „unbekannten“ Pfaden.

Nach Ausschluss der in Deutschland bereits weit verbreiteten invasiven Arten zeigten sich für die übrigen Arten (d. h. kleinräumig verbreitet, fehlend, unbekannt; n=28) – wie schon bei den Arten der Unionsliste (siehe oben) – für alle drei Invasionsphasen nur geringfügige Unterschiede in der Bedeutung der einzelnen Pfade (Abb. 10-12) im Vergleich zu den oben beschriebenen Ergebnissen.

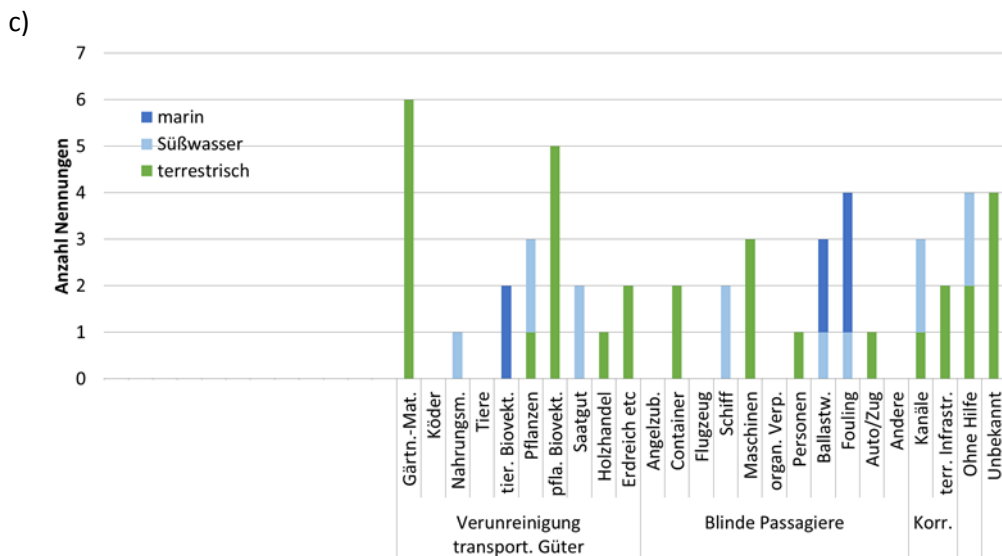
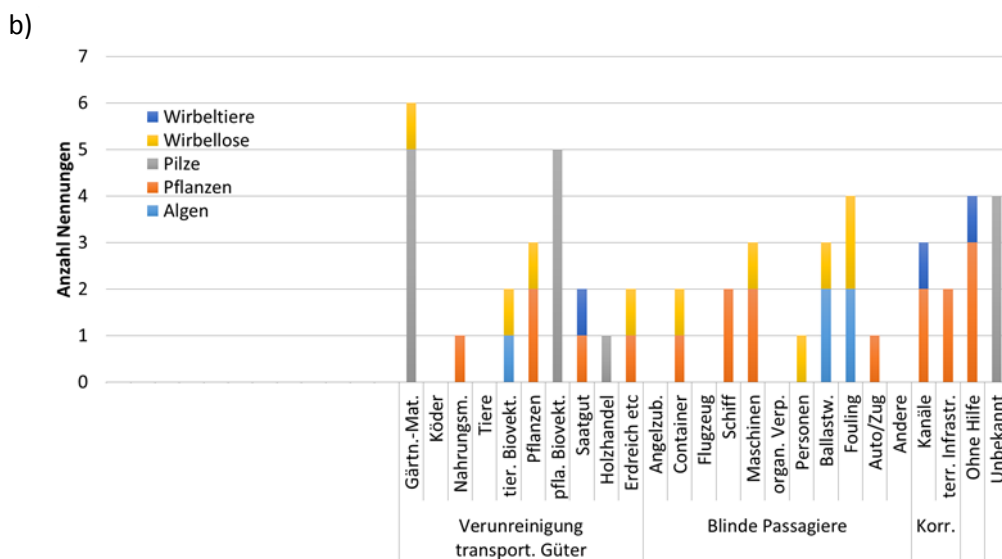
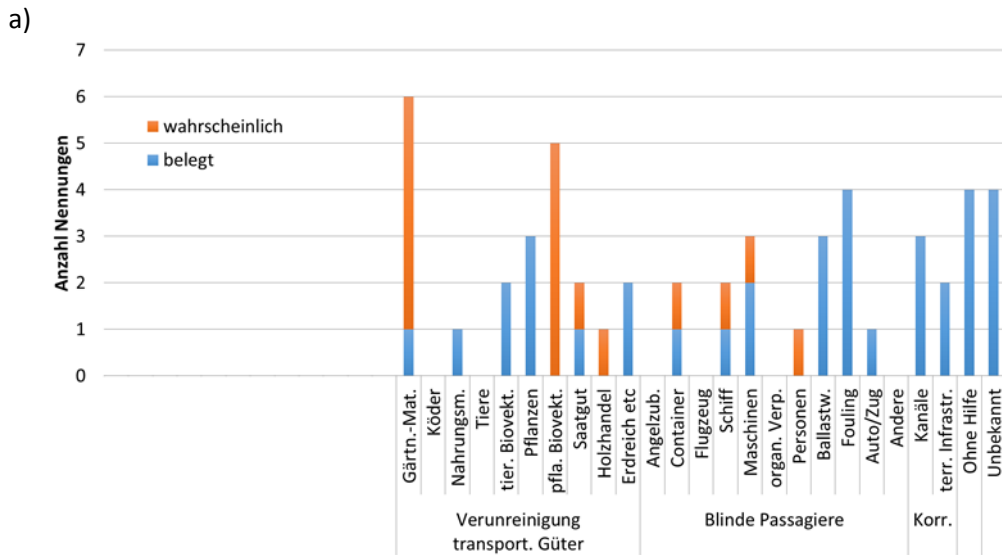


Abbildung 10: Anzahl der Nennungen ($n=51$) der Einführungspfade und Pfad-Kategorien für a) belegte und wahrscheinliche Pfade, b) taxonomische Gruppen und c) Lebensräume der 28 invasiven Arten Deutschlands mit den Verbreitungsangaben kleinräumig verbreitet, fehlend oder unbekannt.

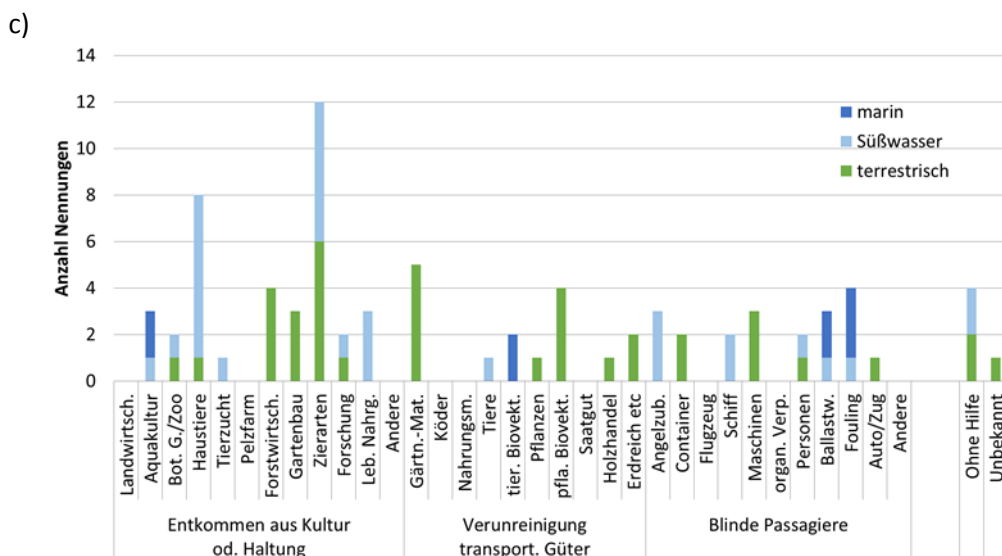
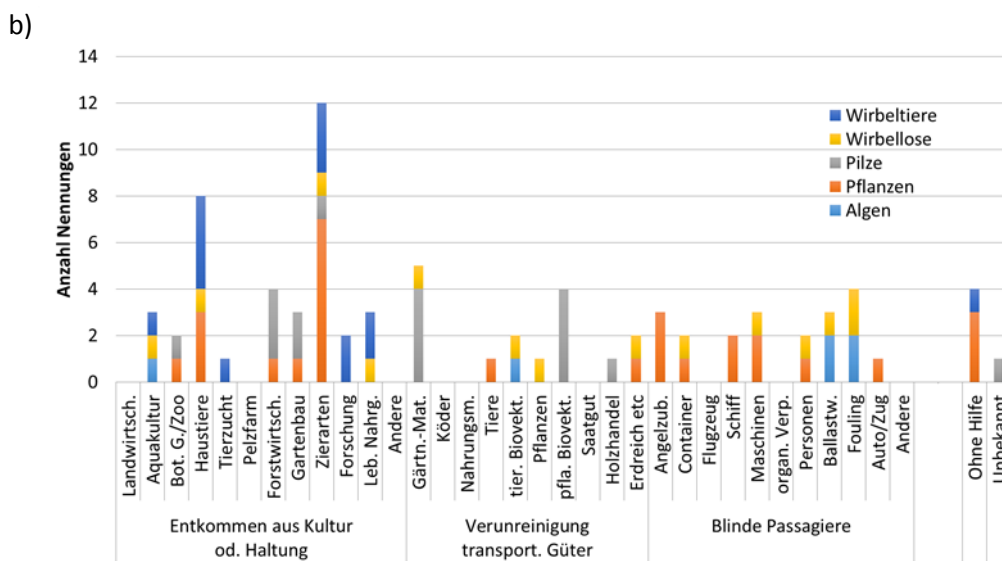
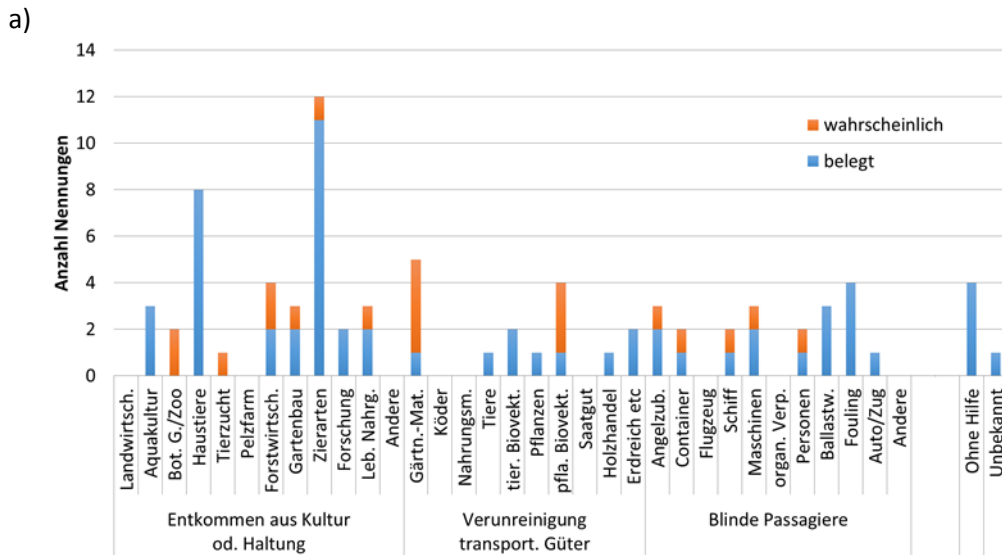


Abbildung 11: Anzahl der Nennungen ($n=79$) der Ausbringungspfade und Pfad-Kategorien für a) belegte und wahrscheinliche Pfade, b) taxonomische Gruppen und c) Lebensräume der 28 invasiven Arten Deutschlands mit den Verbreitungsangaben kleinräumig verbreitet, fehlend oder unbekannt.

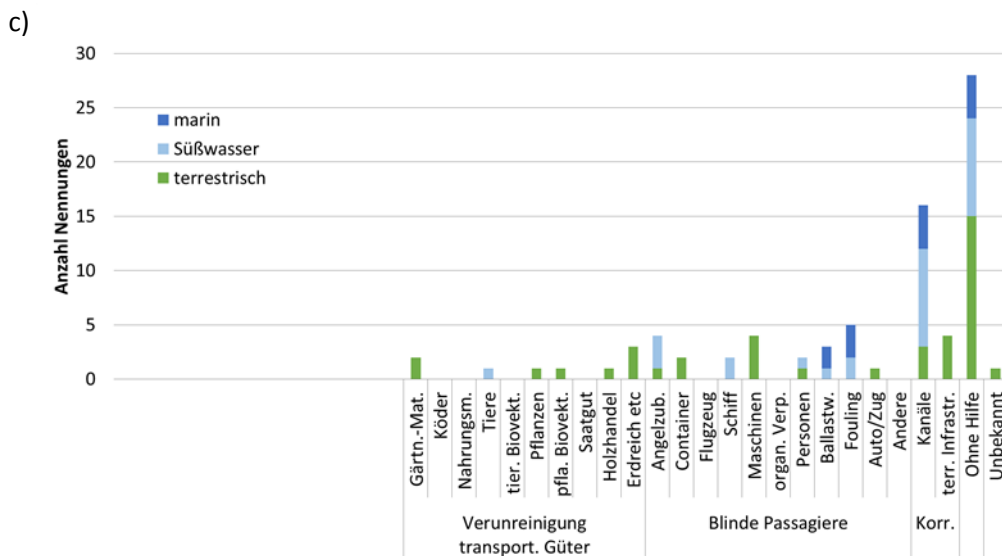
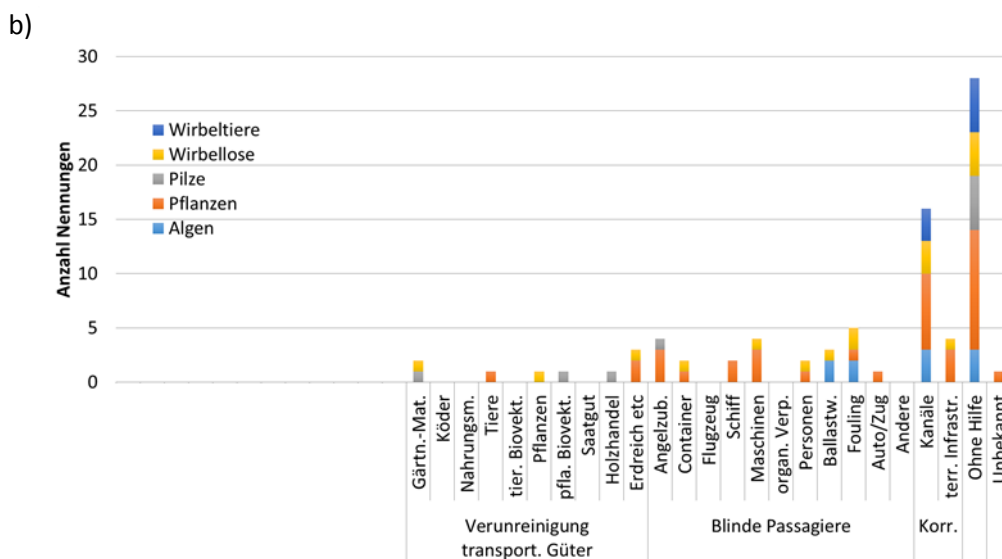
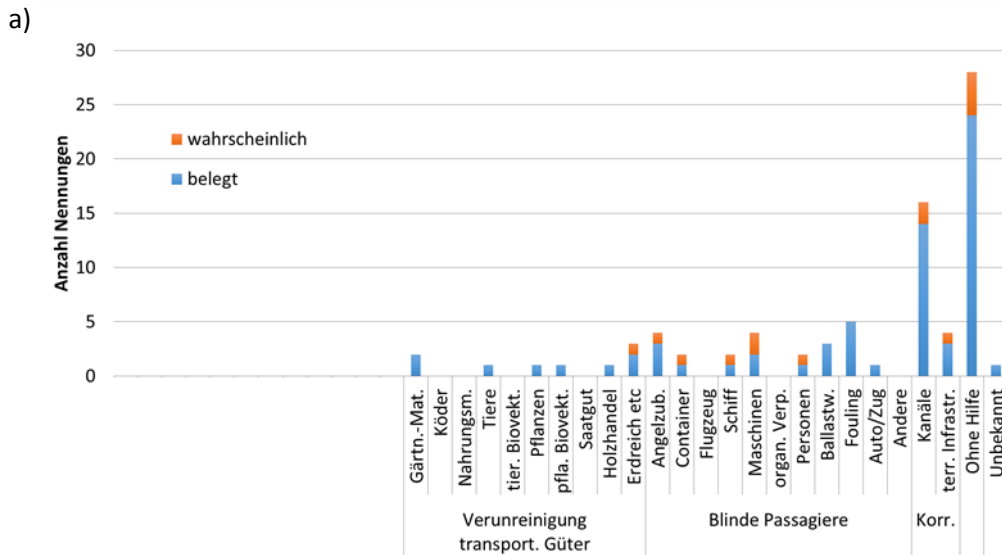


Abbildung 12: Anzahl der Nennungen ($n=81$) der Ausbreitungspfade und Pfad-Kategorien für a) belegte und wahrscheinliche Pfade, b) taxonomische Gruppen und c) Lebensräume der 28 invasiven Arten Deutschlands mit den Verbreitungsangaben kleinräumig verbreitet, fehlend oder unbekannt.

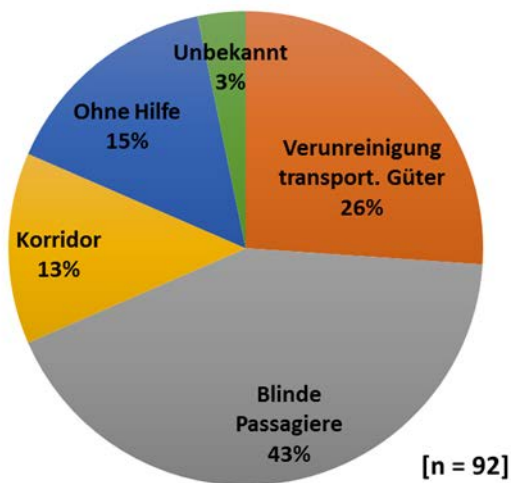
3.3 Die Pfad-Kategorien der in Deutschland invasiven Arten ohne Algen und Pilze (73 Arten)

Bei der Analyse der Pfade der invasiven Arten in Deutschland unter Ausschluss von Algen und Pilzen (n=73) verringert sich erwartungsgemäß die Bedeutung der ansonsten von Pilzen dominierten Einführungspfade „Material aus Gärtnereien und Baumschulen“ und „In oder an pflanzlichen Biovektoren“, während sich für die Ausbringungs- und Ausbreitungspfade keine wesentlichen Änderungen zu den anderen Auswertungen zeigen (Abb. 13-15).

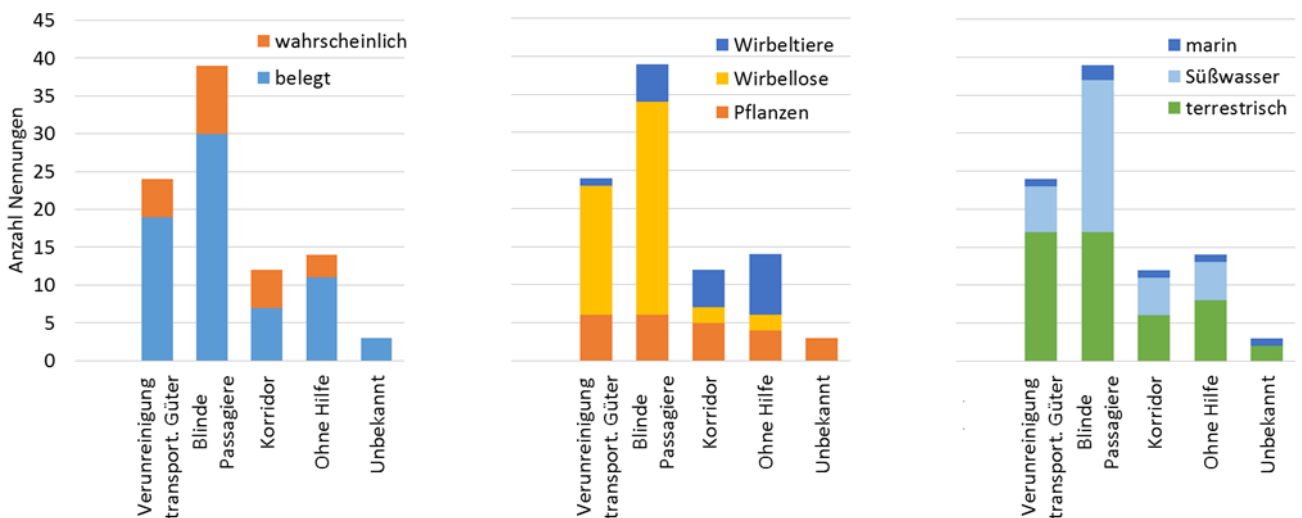
Wie auch bei den Arten der Unionsliste nimmt die Bedeutung der „Verunreinigungen“ in der Ausbringungs- und Ausbreitungsphase im Vergleich zur Einführungsphase deutlich ab, während die Bedeutung der „Korridore“ zunimmt. In beiden Gruppen überwiegen die Pfade der Kategorie „Entkommen aus Kultur oder Haltung“ bei der Ausbringung der Arten.

a)

Nicht vorsätzliche Einführung (IAS DTLD: 73 Arten)



b)



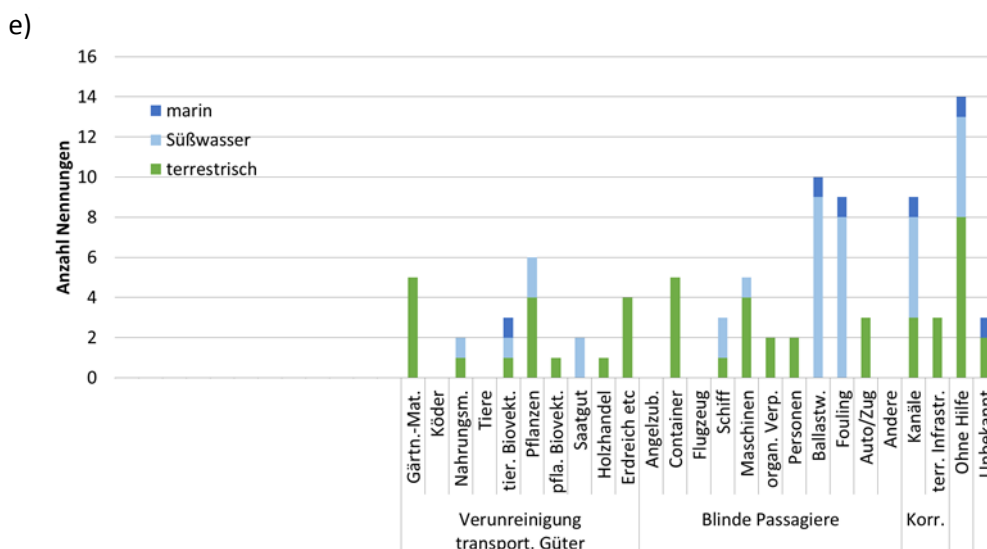
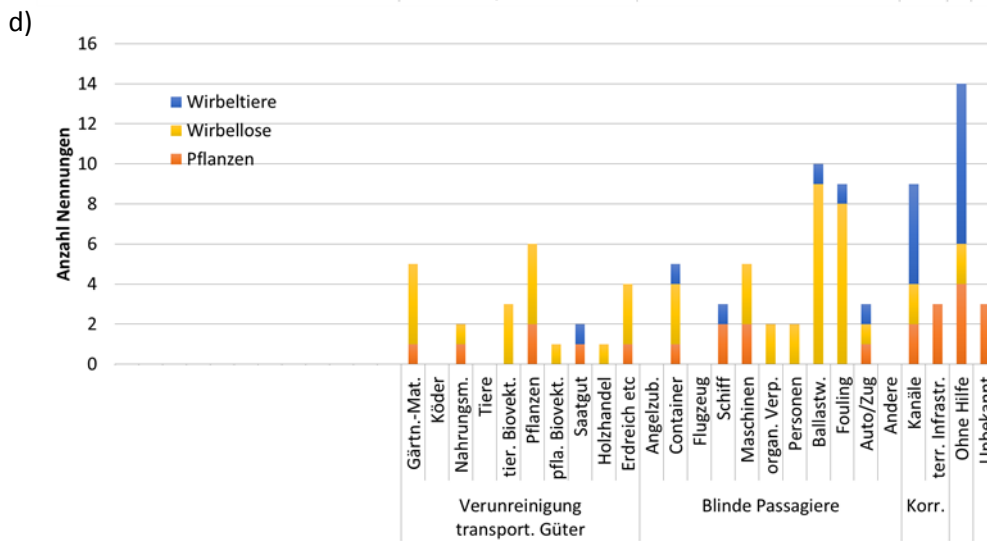
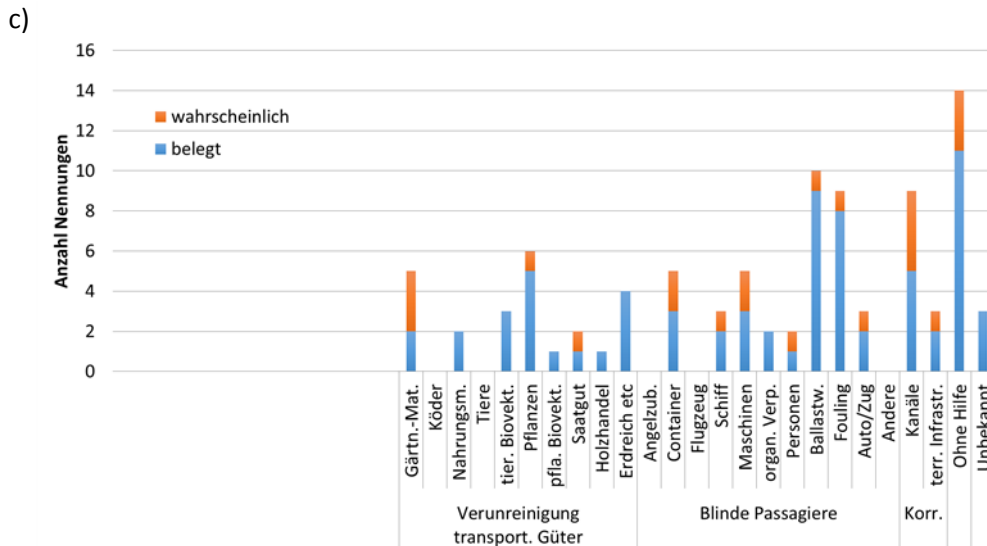
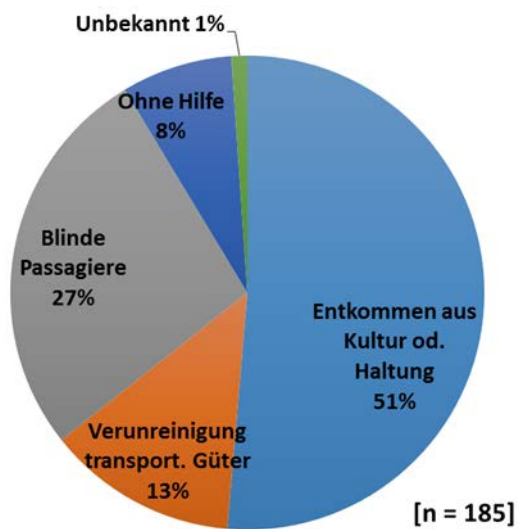


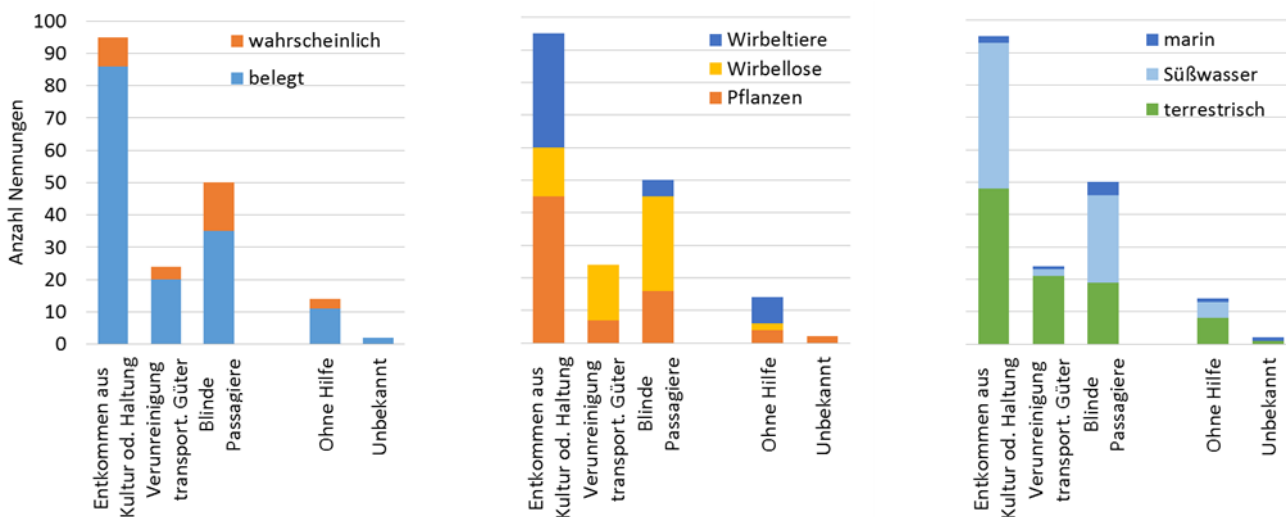
Abbildung 13: a) Relative Anteile (Kreisdiagramme) und b) absolute Häufigkeiten (Balkendiagramme) der Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Einführung der 73 in Deutschland invasiven Arten (ohne Algen und Pilze). [n=92] steht für die Gesamtzahl an Pfad-Nennungen für die Arten in dieser Phase, die größer ist als die Gesamtzahl der Arten, da einige Arten mehrere Pfade benutzen. Bei Arten, die noch nicht in Deutschland vorkommen, wurden vermutete Pfade vergeben. Bei den absoluten Häufigkeiten wird zudem zwischen c) belegten und wahrscheinlichen Pfad-Kategorien, d) taxonomischen Gruppen und e) Lebensräumen unterschieden.

a)

Nicht vorsätzliche Ausbringung (IAS DTLD: 73 Arten)



b)



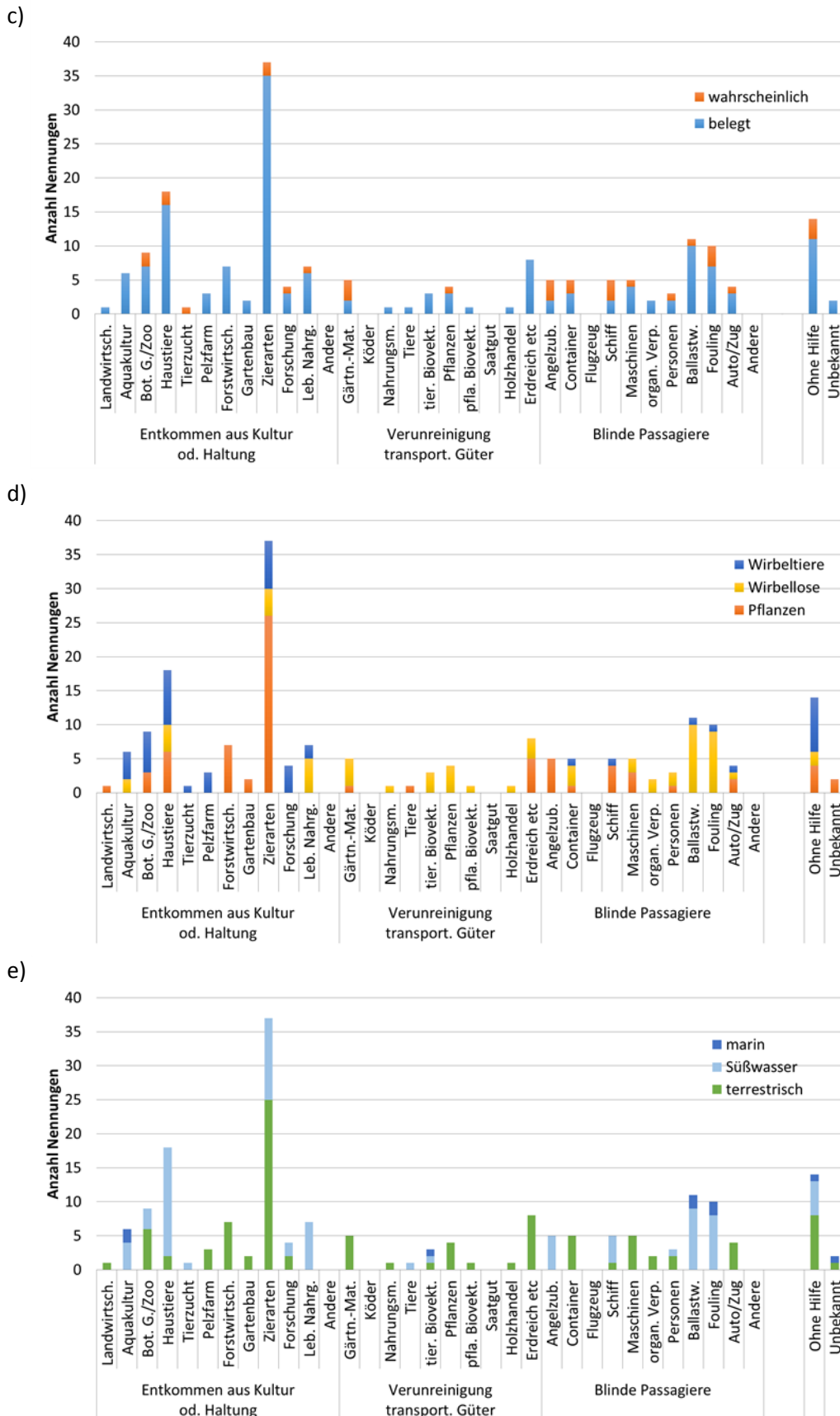
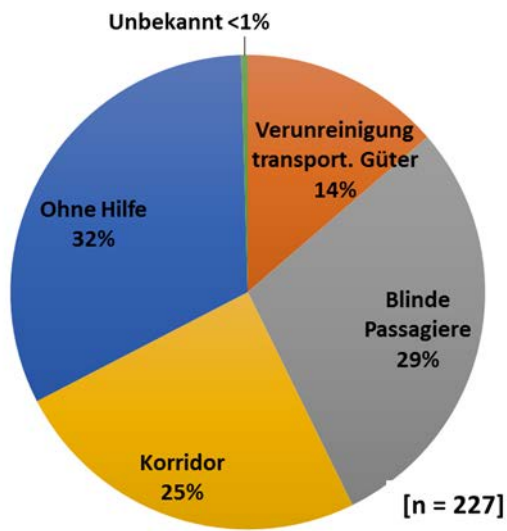


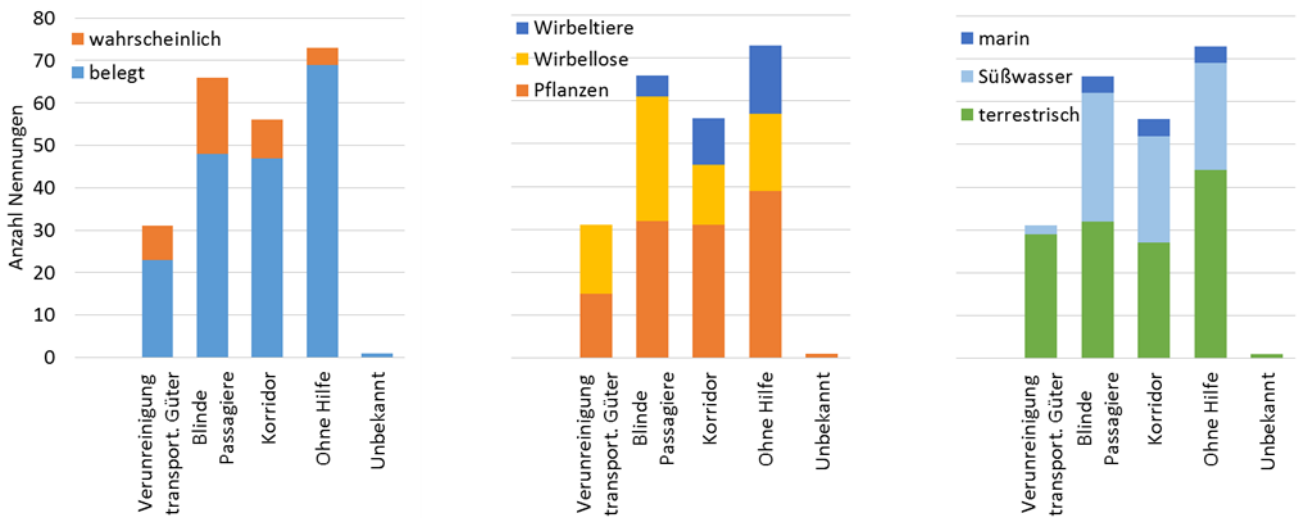
Abbildung 14: a) Relative Anteile (Kreisdiagramme) und b) absolute Häufigkeiten (Balkendiagramme) der Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Ausbringung der 73 in Deutschland invasive Arten (ohne Algen und Pilze). [n=185] steht für die Gesamtzahl an Pfad-Nennungen für die Arten in dieser Phase, die größer ist als die Gesamtzahl der Arten, da einige Arten mehrere Pfade benutzen. Bei Arten, die noch nicht in Deutschland vorkommen, wurden vermutete Pfade vergeben. Bei den absoluten Häufigkeiten wird zudem zwischen c) belegten und wahrscheinlichen Pfad-Kategorien, d) taxonomischen Gruppen und e) Lebensräumen unterschieden.

a)

Nicht vorsätzliche Ausbreitung (IAS DTLD: 73 Arten)



b)



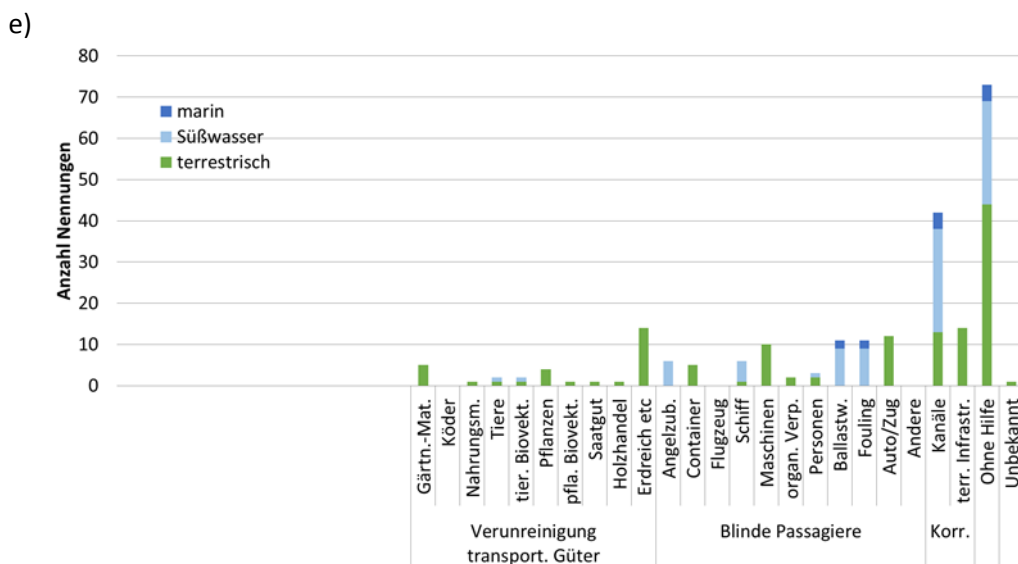
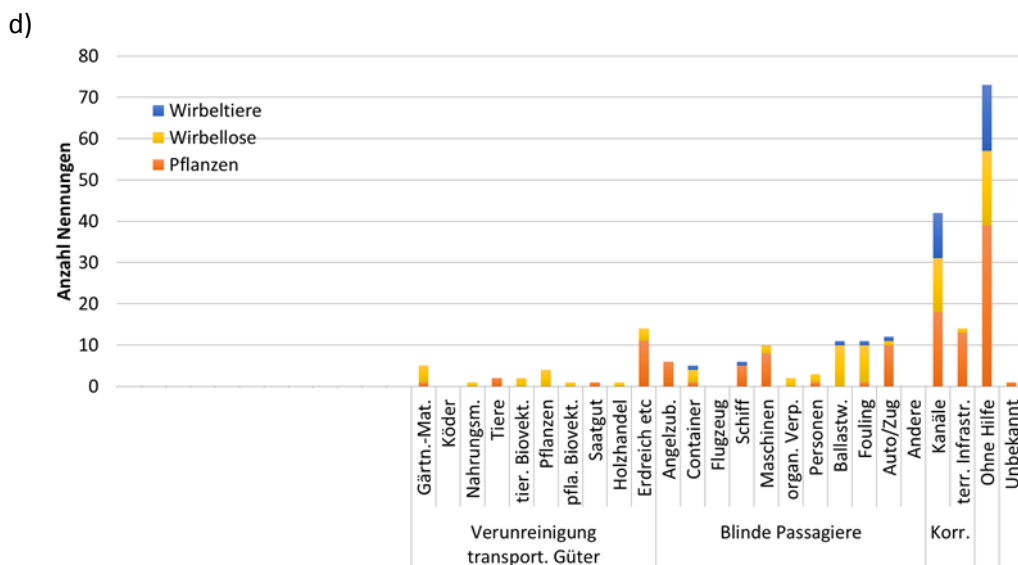
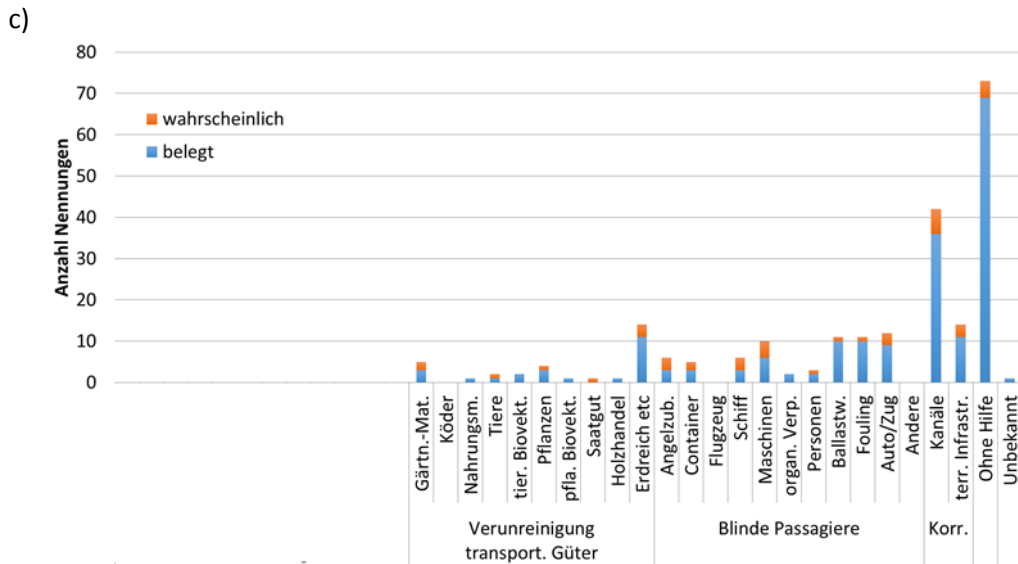


Abbildung 15: a) Relative Anteile (Kreisdiagramme) und b) absolute Häufigkeiten (Balkendiagramme) der Pfad-Kategorien bei der nicht vorsätzlichen Ausbreitung der 73 in Deutschland invasive Arten (ohne Algen und Pilze). [n=227] steht für die Gesamtzahl an Pfad-Nennungen für die Arten in dieser Phase, die größer ist als die Gesamtzahl der Arten, da einige Arten mehrere Pfade benutzen. Bei Arten, die noch nicht in Deutschland vorkommen, wurden vermutete Pfade vergeben. Bei den absoluten Häufigkeiten wird zudem zwischen c) belegten und wahrscheinlichen Pfad-Kategorien, d) taxonomischen Gruppen und e) Lebensräumen unterschieden.

3.4 Die prioritären Pfade

Die in weiterer Folge gemäß Artikel 13 Abs. 2 der EU-VO zu erstellenden Aktionspläne sind nicht für die Phasen Einführung, Ausbringung und Ausbreitung, sondern für einzelne Pfade oder Pfadgruppen zu erstellen. Für die Priorisierung der Pfade wurden ihre Nennungen daher über alle drei Phasen summiert, wodurch ein Pfad pro Art bis zu dreimal in der Gesamtsumme enthalten sein kann. Dies gilt für Pfade jener Pfadkategorien, die in allen drei Phasen vertreten sind, d.h. „Verunreinigung von transportierten Gütern“, „Blinde Passagiere“, und „Eigenständig (Ohne Hilfe)“. Die Pfadkategorie „Entkommen aus Kultur oder Haltung“ enthält nur Ausbringungspfade, durch die Organismen aus der Gefangenschaft oder Haltung nicht vorsätzlich entkommen. Im Unterschied dazu enthält die Pfadkategorie „Eigenständig (Korridor)“ nur Einführungs- und Ausbreitungspfade, da die Einführung hier zugleich die „Ausbringung“ der Art in die freie Natur bedeutet.

Der mit Abstand am häufigsten genannte Pfad „Eigenständig (Ohne Hilfe durch den Menschen)“ beschreibt die Einführung (eigentlich eigenständige Einwanderung, zugleich Ausbringung) von gebietsfremden Arten aus Nachbarländern, in denen sie ebenfalls gebietsfremd sind und die Ausbreitung (nach erfolgter Etablierung) innerhalb Deutschlands (63 Nennungen in der Unionsliste bzw. 121 Nennungen in der Liste der weiteren invasiven Arten) (Abb. 16).

Unionsliste (37 Arten)	N	Invasive Arten D (93 Arten)	N
Eigenständige Ausbreitung (Ohne Hilfe durch den Menschen)	63	Eigenständige Ausbreitung (Ohne Hilfe durch den Menschen)	121
Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen	26	Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen	60
Heimtierhandel / Aquaristik / Terraristik	21	Ballastwasser	46
Zierarten (Tiere und Pflanzen)	19	Material aus Gärtnereien und Baumschulen	44
Verunreinigung von Erdreich, Kies, totem Pflanzenmaterial	15	Zierarten (Tiere und Pflanzen)	43
Botanischer Garten / Tierpark (Zoo, Gehege, öffentliche Aquarien)	13	Bewuchs / Anlagerung an Schiffsrumpf	39
In oder an Geräten / Maschinen / Ausrüstung	13	In oder an pflanzlichen Biovektoren	30
In oder an Autos und Zügen	13	Verunreinigung von Erdreich, Kies, totem Pflanzenmaterial	26
Fischerei- und Angelzubehör	12	In oder an Geräten / Maschinen / Ausrüstung	20
In oder an Menschen oder ihrem Gepäck	9	In oder an Autos und Zügen	19

Abbildung 16: Priorisierung der nicht vorsätzlichen Pfade der Einführung, Ausbringung und Ausbreitung aufgrund der Zahl der Nennungen (N) der belegten und wahrscheinlichen Nutzung der Pfade für die 37 Arten der Unionsliste (links) und die 93 weiteren invasiven Arten in Deutschland (rechts). Dargestellt sind jeweils die 10 erstgereihten Pfade. Pfeile visualisieren Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den beiden Gruppen in der Reihung der prioritären Pfade. Pfade die nur in einer der beiden Gruppen vorkommen sind grau hinterlegt.

Die Priorisierung ist gemäß EU-VO anhand der Arten der Unionsliste vorzunehmen. Der Vergleich der Daten zeigt eine unterschiedliche Priorisierung für diese Arten und die weiteren 93 invasiven Arten in Deutschland (Abb. 16). So verringert sich bei letzteren z. B. die relative Bedeutung des Pfades „Heimtierhandel“, wohingegen die Pfade „Ballastwasser“, „Material aus Gärtnereien und Baum-

schulen“ und „Bewuchs/ Anlagerung an Schiffsrumpf“ an Bedeutung gewinnen. Übereinstimmung besteht in den Spitzenpositionen („Ohne Hilfe durch den Menschen“ sowie „Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen“, 26 bzw. 60 Nennungen). Auch nehmen „Zierarten (Tiere und Pflanzen)“ (19 bzw. 43 Nennungen) und „Verunreinigung von Erdreich, Kies, totem Pflanzenmaterial“ (15 bzw. 26 Nennungen) in beiden Gruppen vordere Ränge ein.

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die generelle Bedeutung der ersten 10 Pfade der Priorisierung der 130 ausgewerteten Arten gegeben.

Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen

Das deutsche Binnenwasserstraßennetz umfasst rund 7.300 Kilometer (ohne Seeschiffahrtsstraßen an den Küsten), wovon etwa 75 % auf Flüsse und 25 % auf Kanäle entfallen (Abb. 17). Es wird als Verkehrsinfrastruktur für den internationalen Handel von Gütern (rund 4.800 km) und in geringerem Umfang für Erholung und Tourismus genutzt. Für die Nutzung relevant sind zudem verschiedene Anlagen (z. B. Schleusen, Wehre, Kanalbrücken, Häfen). Durch das Binnenwasserstraßennetz werden ursprünglich voneinander getrennte, benachbarte Flusseinzugsgebiete miteinander verbunden. Das europäische Wasserstraßennetz hat durchgängig befahrbare Wasserstraßen zwischen dem Schwarzen Meer und der Nord- und Ostsee sowie zwischen dem Mittelmeer und der Nordsee geschaffen. Von besonderer Bedeutung ist die Verbindung von Rhein und Donau seit der Öffnung des Main-Donau-Kanals im Jahr 1992. Auch wenn ponto-kaspische Arten aus dem Einzugsgebiet des Schwarzen Meeres gemäß EU-VO Artikel 4 Abs. 3a nicht für die Aufnahme in die Unionsliste in Frage kommen, sind zahlreiche invasive aquatische Arten auf diesem Pfad nach Deutschland gelangt (Nehring et al. 2015, Rabitsch & Nehring 2017), und Maßnahmen könnten gemäß Artikel 11 (Invasive Arten von regionaler Bedeutung) oder Artikel 12 (Invasive Arten von Bedeutung für den Mitgliedstaat) umgesetzt werden.

Der Pfad „Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen“ bezieht sich auf die selbständige Bewegung gebietsfremder Arten innerhalb oder entlang der Kanäle und Wasserstraßen, während die Verbringung mit „Ballastwasser“ bzw. „Bewuchs/Anlagerung an Schiffsrumpf“ als eigenständige Pfade betrachtet werden (vgl. BfN in Vorber.). Die insgesamt 86 Nennungen dieses Pfades betreffen überwiegend (85 %) die Invasionsphase der Ausbreitung.

Zierarten (Tiere und Pflanzen)

Der Pfad umfasst die (hier nicht relevante vorsätzliche) Einführung zur Nutzung als Zierpflanze oder Ziertier sowie die danach folgende nicht vorsätzliche Ausbringung, d. h. das Entkommen der Arten aus Haltungen außerhalb von Gebäuden, z. B. aus öffentlichen oder privaten Parks und Gärten sowie Gartenteichen. Der Pfad bezieht sich nicht auf Arten im „Heimtierhandel / Aquaristik / Terraristik“, die in der Regel innerhalb von Gebäuden gehalten werden und die ebenfalls nicht vorsätzlich entkommen können.

Mit rund 700.000 Beschäftigten und einem jährlichen Umsatz von rund 80 Mrd. Euro stellt der Gartenbau in Deutschland einen wesentlichen Wirtschaftsfaktor dar, insbesondere im Einzelhandel und im Großhandel (BMEL 2014). Er umfasst den Produktionsbereich (Zierpflanzenbau, Obst- und Gemüsebau, Baumschulen) und den Dienstleistungsbereich (Garten- und Landschaftsbau, Friedhofsgärtnereien). In Deutschland wurden im Jahr 2012 von rund 4.500 Unternehmen Zierpflanzen im Freiland und unter Glas produziert (z. B. 1,2 Mrd. Beet- und Balkonpflanzen sowie Stauden, 142 Mio. Zimmerpflanzen). Über 40 % der beanspruchten Fläche im Freiland und unter Glas befindet sich im Bundesland Nordrhein-Westfalen. Zusätzlich wurden im Jahr 2013 Blumen und Pflanzen im Wert von rund 2,2 Mrd. Euro nach Deutschland importiert, vor allem aus den Niederlanden, davon entfielen etwa 243 Mio. auf Baumschulware und 195 Mio. auf Beet- und Balkonpflanzen sowie Freilandstau-

BUNDESWASSERSTRASSEN

- Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes



Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Januar 2014, Karte W 162 de
 Kartographie: Fachstelle für Geoinformationen Süd, Regensburg, zur Verfügung gestellt gemäß GeoNutzV
 Bundeswasserstraßen, die eine Länge von unter 5 km aufweisen, sind maßstabsbedingt teilweise nicht dargestellt.

- | | |
|---|---|
| <p>BONN ■ Sitz der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS)</p> <p>MAINZ ■ Sitz einer Außenstelle der GDWS</p> <p>Bingen ◆ Sitz eines Wasser- und Schifffahrtsamtes u. dgl.</p> <p>KARLSRUHE ● Sitz einer Oberbehörde / Bundesanstalt</p> | <p> Grenze zwischen Außenstellen der GDWS</p> <p> nicht klassifizierte BinWaStr</p> <p> WaStr-Klasse I - III nach UN ECE</p> <p> WaStr-Klasse IV - VI nach UN ECE</p> |
|---|---|

Abbildung 17: Das deutsche Bundeswasserstraßennetz (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Januar 2014, Kartenbezeichnung: "W 162 de").

den. Der Export von Zierpflanzen, vor allem in andere europäische Länder, betrug 764 Mio. Euro, davon 173 Mio. Euro Baumschulware (BMEL 2014).

Die Verwendung von Ziertieren aus ästhetischen oder gestalterischen Motiven im Freiland hat überwiegend historische Bedeutung bzw. steht in der Regel mit vorsätzlichen Pfaden und der direkten Freisetzung der Arten in Verbindung (z. B. Biologische Kontrolle, Fischerei, Jagd). Allerdings sind auch mehrere Fälle bekannt, in denen Zierarten, die nicht als Heimtiere in Gebäuden gehalten wurden, ins Freiland gelangt sind (z. B. Hörnchen, Ochsenfrosch, Ziervogel, Schildkröten). Dies gilt insbesondere für die Haltung und das Entkommen aus Gartenteichen (z. B. Flusskrebse). Nach Chucholl (2013) ist Deutschland der Hauptimporteur nicht-europäischer Flusskrebsarten in Europa mit seit 2005 jährlich durchschnittlich sieben neuen Arten im Handel. Von den 120 verfügbaren Arten stammen 105 aus Nord- oder Zentralamerika und sind dementsprechend potenzielle Überträger der Krebspest. Nach Schätzungen des Zentralverbands Zoologischer Fachbetriebe Deutschlands gibt es in Deutschland rund 2,6 Mio. Gartenteiche (ZZF 2012). Verschiedene Ziervogelarten haben ausgehend von privaten Freiflughaltungen unbeständige (z. B. Streifengans) und etablierte (z. B. Rostgans) Populationen im Freiland aufgebaut (Bauer & Woog 2008). Detaillierte Zahlen zur Menge und Vielfalt der hier relevanten Arten sind für Deutschland nicht verfügbar und wären unter Berücksichtigung des privaten Online-Handels bestenfalls als Untergrenze anzusehen.

Ballastwasser

Gering oder nicht beladene Seeschiffe müssen zur Stabilisierung sogenanntes Ballastwasser in entsprechenden Tanks aufnehmen. In diesem Ballastwasser befinden sich zahlreiche Organismen, die nach der Fahrt am Zielort mit dem Wasser in das freie Gewässer abgegeben werden. Ballastwasser ist der wichtigste Pfad für die Verbringung mariner Organismen (Gollasch & Matej 2015). In der vorliegenden Analyse der Arten der Unionsliste ist Ballastwasser von untergeordneter Bedeutung und nur für *Eriocheir sinensis* relevant. Bei Betrachtung aller invasiver Arten Deutschlands nimmt die Bedeutung erwartungsgemäß zu, wobei der Pfad von fast gleichwertiger Bedeutung für die drei Invasionsphasen Einführung, Ausbringung und Ausbreitung ist. Schätzungen gehen davon aus, dass zwischen 2 und 10 Mio. Tonnen Ballastwasser jährlich in deutsche Häfen gelangen.

Mit dem Ballastwasser-Übereinkommen für größere Seehandelsschiffe traten seit 2017 neue Bestimmungen in Kraft, die die Verschleppung der Arten verhindern soll. Als mögliche Maßnahmen stehen der Wasseraustausch bzw. bewilligungspflichtige Ballastwasser-Behandlungssysteme (mit Filteranlagen, Biozid- oder UV-Licht-Behandlung) zur Verfügung. Auch Binnenschiffe sowie kleinere Schiffe mit geringerem Tiefgang in der Seeschifffahrt verwenden Ballastwasser, wenngleich die Relevanz für die Verschleppung von Arten kaum bekannt und bisher nicht ausreichend untersucht ist.

Material aus Gärtnereien und Baumschulen

Dieser Pfad aus der Kategorie „Verunreinigung von transportierten Gütern“ beschreibt die nicht vorsätzliche Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge der Aktivitäten von Gärtnereien und Baumschulen, bei denen nicht nur die Pflanzen selbst transportiert werden, sondern auch das Substrat in dem sie wachsen (z. B. Topferde), welches eine Reihe von Organismen (z. B. Insekten, Pilze, Pflanzensamen) enthalten kann. Der Pfad ist für Arten der Unionsliste von untergeordneter Bedeutung, nicht aber für alle invasiven Arten in Deutschland, wo er in allen drei Invasionsphasen relevant ist. Die hohe wirtschaftliche Bedeutung des Gartenbaus wurde bereits oben dargelegt (BMEL 2014).

Bewuchs / Anlagerung an Schiffsrumpf

Zahlreiche aquatische, vor allem marine, Organismen besiedeln hartes Substrat und können auf der

Oberfläche von Schiffsrümpfen leben. Dieser auch als „fouling“ bezeichnete Pfad ist für Arten der Unionsliste nicht von großer Bedeutung, tritt aber mit 43 Nennungen häufig bei den invasiven Arten in Deutschland in allen drei Invasionsphasen in Erscheinung. Zu den möglichen negativen Auswirkungen durch die Verschleppung von Arten kommen auch wirtschaftlich relevante Behinderungen beim Transport, wie die Verlangsamung des Schiffes durch den erhöhten Wasserwiderstand. „Anti-fouling“-Maßnahmen umfassen mechanische und chemische Methoden, wobei letztere unterschiedlichen Auflagen unterliegen (z. B. EU-Biozid-Verordnung).

Verunreinigung von Erdreich, Kies, totem Pflanzenmaterial

Dieser Pfad aus der Kategorie „Verunreinigung von transportierten Gütern“ beschreibt die nicht vorsätzliche Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Erdreich, Kies, totem Pflanzenmaterial oder anderen Pflanzenprodukten (z. B. Heu, Stroh, Gartenabfälle) oder ähnlichem, worin sie sich befinden. Der Pfad hat mit insgesamt 41 Nennungen für Arten der Unionsliste (beinahe ausschließlich Pflanzen) und die weiteren invasiven Arten eine hohe Relevanz. Es ist zu vermuten, dass Managementmaßnahmen zur Kontrolle dieses Pfades aus praktischen Gründen nur mit hohem Aufwand umzusetzen sind.

Heimtierhandel / Aquaristik / Terraristik

Der Pfad umfasst die (hier nicht relevante) vorsätzliche Einführung und Ausbringung von nicht domestizierten Heimtieren innerhalb von Gebäuden sowie deren nicht vorsätzliche Ausbringung, d. h. das Entkommen der Arten aus Wohnungen, Aquarien oder Terrarien. Der 39 Nennungen des Pfades fallen demnach zur Gänze in die Invasionsphase der Ausbringung. Mehr als die Hälfte der Nennungen (54 %) betreffen Arten der Unionsliste, für die dieser Pfad eine hohe Bedeutung aufweist (Abb. 16). Nach Schätzungen des Zentralverbands Zoologischer Fachbetriebe Deutschlands werden in deutschen Haushalten rund 7,6 Mio. Kleinsäuger und 3,7 Mio. Ziervögel gehalten; hinzukommen rund 2,3 Mio. Aquarien und 0,8 Mio. Terrarien (ZZF 2012). Die hohe wirtschaftliche Bedeutung von Zierarten wurde bereits oben dargelegt.

In oder an Geräten / Maschinen / Ausrüstung

Dieser Pfad aus der Kategorie „Blinde Passagiere in oder an Transportmitteln“ beschreibt die nicht vorsätzliche Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit unterschiedlichen Geräten und Maschinen, in und/oder an denen sie sich befinden, wie z. B. Pflanzenteile und Pflanzensamen oder adulte Insekten und deren Entwicklungsstadien. Der Pfad hat mit insgesamt 33 Nennungen für Arten der Unionsliste und die weiteren invasiven Arten eine mittlere Relevanz. Direkte Managementmaßnahmen (z. B. verpflichtende Reinigung von Geräten und Maschinen vor ihrem Einsatz) zur Kontrolle dieses Pfades sind vermutlich nur mit hohem Aufwand umzusetzen und schwierig zu kontrollieren.

In oder an Autos und Zügen

Auch dieser Pfad zählt zur Kategorie „Blinde Passagiere in oder an Transportmitteln“ und beschreibt die nicht vorsätzliche Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten mit Autos, Lastwagen und Zügen, in und/oder an denen sie sich befinden. Der Pfad hat mit insgesamt 32 Nennungen für Arten der Unionsliste und die weiteren invasiven Arten eine ähnliche Relevanz wie der Pfad „In oder an Geräten / Maschinen / Ausrüstung“ und vermutlich bestehen ähnliche Schwierigkeiten bei der Entwicklung von Managementmaßnahmen zur Kontrolle des Pfades.

In oder an pflanzlichen Biovektoren

Dieser Pfad aus der Kategorie „Verunreinigung von transportierten Gütern“ beschreibt die nicht vor-

sätzliche Einführung/Ausbringung/Ausbreitung gebietsfremder Arten im Zuge des Transports von Pflanzen (Wirte), in und/oder an denen sie sich als Parasit, Kommensale, Krankheitserreger befinden, z. B. Pilze, Viren, Milben). Für die Verbringung von Arten in oder an tierischen Biovektoren steht ein eigener Pfad zur Auswahl, wie auch für die Verbringung in oder an Tieren oder lebenden Pflanzen, die jedoch nicht als Wirt für den Organismus erforderlich sind. Der Pfad ist für Arten der Unionsliste nicht relevant, die meisten Nennungen bei den weiteren invasiven Arten entfallen auf Pilze.

4 DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ziel dieser Studie ist eine Liste der prioritär zu behandelnden nicht vorsätzlichen Einbringungs- und Ausbreitungspfade der invasiven Arten der Unionsliste zur Umsetzung der EU-Verordnung 1143/2014 in Deutschland. Die Pfade „Eigenständig (Ohne Hilfe durch den Menschen)“, „Eigenständige Bewegung entlang von Kanälen oder Wasserstraßen“, „Heimtierhandel“ und „Zierarten“ haben in der Auswertung die höchste Bedeutung. Die Analyse von weiteren invasiven Arten in Deutschland zeigt jedoch die hohe Relevanz zusätzlicher Pfade. Die Artenauswahl spielt somit bei der Priorisierung der Pfade eine zentrale Rolle. Durch das Fehlen mariner Arten in der Unionsliste sind z. B. „Ballastwasser“ und „Bewuchs/Anlagerung an Schiffsrumpf“ erst bei Berücksichtigung der weiteren invasiven Arten in Deutschland von hoher Priorität (vgl. z. B. Katsanevakis et al. 2013). Pfade mit besonderer Bedeutung für die Land- und Forstwirtschaft (z. B. Holzhandel) oder die menschliche Gesundheit (z.B. Biologische Sanierung oder Abfallbewirtschaftung) sind aus demselben Grund bei den Unionslisten-Arten unterrepräsentiert. Vor diesem Hintergrund und auch wenn die EU-VO die Priorisierung von Pfaden nur auf die Arten der Unionsliste beschränkt, halten wir es für wichtig, für die Umsetzung und Entwicklung von Aktionsplänen andere in Deutschland invasive Arten mit zu berücksichtigen, um alle relevanten Einbringungs- und Ausbreitungspfade abzudecken. Dadurch wird möglicherweise auch eine umfangreiche Anpassung der Aktionspläne an eine in Zukunft erweiterte Unionsliste vorweggenommen. Zwar ist nicht vorhersehbar, ob bzw. wie häufig solche Erweiterungen stattfinden werden (vgl. z. B. Carboneras et al. 2017, Roy et al. eingereicht.), doch müssen 18 Monate nach in Kraft treten einer Erweiterung die Priorisierung und in weiterer Folge die Aktionspläne – sofern erforderlich – angepasst werden. Nach der ersten Erweiterung befinden sich derzeit 49 invasive Arten auf der Unionsliste (Nehring & Skowronek 2017), welche bereits alle im erweiterten Datensatz der vorliegenden Priorisierungsstudie berücksichtigt sind.

Der am häufigsten genannte Pfad „Eigenständig (Ohne Hilfe durch den Menschen)“, der Ausbreitungsvorgänge durch die Arten selbst (also aus eigener Kraft, auch ohne Nutzung der vom Menschen geschaffenen Infrastruktur) umfasst, bezieht sich auf die Einwanderung ausgehend von einem Gebiet, in das die Arten vorher durch Menschen eingeführt wurden. Solche Ausbreitungsvorgänge sind durch direkte Maßnahmen am Pfad kaum zu verhindern. Die beste Strategie zur Kontrolle dieses Pfades ist entsprechende Aufklärungs- und Öffentlichkeitsarbeit als Präventivmaßnahme, um das frühzeitige Erkennen und die sofortige Bekämpfung von invasiven Arten am Beginn ihrer Invasion zu ermöglichen sowie entsprechende Maßnahmen zur Verringerung der Einführung, Ausbringung, Etablierung und Ausbreitung in den EU-Nachbarländern.

Das Ziel der Priorisierung ist es, Pfade zu identifizieren, für die im Rahmen eines oder mehrerer Aktionspläne entsprechende Managementmaßnahmen ausgearbeitet werden können (gemäß Artikel 13 Abs. 2 der EU-VO). Dafür ist die mögliche Zusammenlegung von Pfaden, die gleiche Maßnahmen erfordern, genauso zu prüfen, wie die weitere Auftrennung von Pfaden, die noch zu breit gefasst sind: Der Pfad „Zierarten“ könnte in „Zierpflanzen“ und „Ziertiere“ untergliedert werden, und es könnte überlegt werden, ob eine Zusammenfassung von „Ziertieren“ mit „Heimtierhandel / Aquaristik / Terraristik“ sinnvoll ist. Der Pfad „In oder auf Schiffen“ könnte weiter in Binnen-, Sport- und Seeschifffahrt aufgetrennt und mit jeweils eigenständigen Maßnahmen versehen werden; dasselbe gilt für „Bewuchs / Anlagerung an Schiffsrumpf“.

Auch der Pfad „Botanischer Garten/Tierpark (Zoo, Gehege, öffentliche Aquarien)“ umfasst unterschiedliche Akteure mit dementsprechend unterschiedlichen Optionen für Maßnahmen. Sinnvoll könnte es sein, Aktionspläne getrennt für Botanische Gärten und Tierparks zu entwickeln. Für die Entwicklung von Aktionsplänen für den Pfad „In oder an Autos und Zügen“ könnte zwischen schie-

nengebundenen Fahrzeugen und Kraftfahrzeugen unterschieden werden; zusätzlich kann es sinnvoll sein, gewerbliche und private Kraftfahrzeuge sowie Güter- und Personenbeförderung zu trennen.

Da viele invasive Arten mehrere Pfade nutzen (Pergl et al. 2017, Saul et al. 2017) ist zu erwarten, dass Maßnahmen gegen einzelne Pfade Synergieeffekte erzeugen. Schließlich sind für die Entwicklung von Maßnahmen im Rahmen der Aktionspläne bereits bestehende Regelwerke zu berücksichtigen, wie z. B. das mit 8. September 2017 in Kraft getretene Ballastwasser-Übereinkommen für Seehandelsschiffe mit Bruttoreaumzahl >400 (BMVI 2017).

Der Kenntnisstand der benutzten Pfade ist insgesamt ausreichend für die hier vorgelegten Auswertungen. Dennoch deuten zahlreiche auf Experteneinschätzungen beruhenden Angaben („wahrscheinlich“) auf ein bestehendes Datendefizit. Dies betrifft insbesondere die Dokumentation (Veröffentlichung) von Einführungspfaden, die im Durchschnitt höhere Kenntnislücken als die Pfade der beiden späteren Invasionsphasen aufweisen. Die Pfade der Arten der Unionsliste sind in der Regel besser bekannt, als jene der in Deutschland invasiven Arten, was mit der höheren Aufmerksamkeit für diese Arten erklärt werden kann.

Bei Arten, die mehrere Pfade nutzen, kann deren relative Bedeutung (Anzahl der Individuen, Frequenz, Relevanz) sehr unterschiedlich sein. Zum Zeitpunkt der Auswertung lagen für die untersuchten 130 Arten jedoch keine ausreichenden Daten für eine quantitative Abschätzung der relativen Bedeutung der einzelnen Pfade vor, weshalb alle genutzten Pfade hier als gleichwertig betrachtet werden. Im Zuge einer Überarbeitung der Priorisierung nach Erweiterung der Unionsliste bzw. bei Vorliegen neuer Daten zur Bedeutung der Pfade, wäre eine Gewichtung der Pfad-Nutzung eine mögliche Auswertungsoption.

Schließlich gilt es für die Ausarbeitung konkreter Maßnahmen im Rahmen der Aktionspläne zu beachten, dass sich die Bedeutung der Pfade im Laufe der Zeit ändern kann (Hulme 2009, Essl et al. 2015). Während historische Pfade mitunter aktuell keine besondere Relevanz mehr haben (z. B. Pelztierzucht in vielen Ländern Europas), entstehen neue Pfade, die historisch nicht existiert haben (z. B. Einfuhr von Energiepflanzen, Internethandel) (Essl et al. 2015, Humair et al. 2015). Für die vorliegende Auswertung wurden auch Informationen über historische Pfade verwendet; bei der Entwicklung und Ausarbeitung der Aktionspläne muss diesem Umstand Rechnung getragen werden.

Schlussfolgerungen

Mit der Vorgabe, dass Mitgliedstaaten Aktionspläne für das Management prioritärer Pfade erstellen müssen, gibt die EU-VO dem Naturschutz ein wichtiges Instrument zur Prävention biologischer Invasionen an die Hand (McGeoch et al. 2016). Die Identifizierung der Pfade, die für Deutschland die größte Relevanz haben, ist ein erster Schritt. Darauf aufbauend sind fach- und sachgerechte Maßnahmen zu erarbeiten, mit denen die nicht vorsätzliche Einbringung und Ausbreitung von Arten entlang dieser Pfade kontrolliert werden können. In die Entwicklung und Implementierung solcher Maßnahmen zu investieren lohnt sich, denn ein effektives Management der Invasionspfade adressiert die Ursachen der Ausbreitung und negativer Auswirkungen invasiver Arten.

5 DANKSAGUNG

Wir danken den Teilnehmern der Projektbegleitenden Arbeitsgruppe für hilfreiche und konstruktive Diskussionen zur Methode und zu den Ergebnissen.

6 LITERATUR

- Bauer, H.-G. & Woog, F. (2008): Nichtheimische Vogelarten (Neozoen) in Deutschland, Teil I: Auftreten, Bestände und Status. *Vogelwarte* 46: 157-194.
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (in Vorber.): Methodik der Naturschutzfachlichen Invasivitätsbewertung für gebietsfremde Arten, Version 2.0. BfN-Skripten.
- Blackburn, T.M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J.T., Duncan, R.P., Jarošík, V., Wilson, J.R.U. & Richardson, D.M. (2011): A proposed unified framework for biological invasions. *Trends Ecol. Evol.* 26: 333-339.
- BMEL (2014): Der Gartenbau in Deutschland. Daten und Fakten. Bonn: 39 S.
- BMVI (2017): <http://www.deutsche-flagge.de/de/umweltschutz/ballastwasser>
- Carboneras, C., Genovesi, P., Vilà, M., Blackburn, T.M., Carrete, M., Clavero, M., D'hondt, B., Orueta, J.F., Gallardo, B., Galdames, P., González-Moreno, P., Gregory, R.D., Nentwig, W., Paquet, J.-Y., Pyšek, P., Rabitsch, W., Ramírez, I., Scalera, R., Tella, J.L., Walton, P. & Wynde, R. (2017): A prioritised list of invasive alien species to assist the effective implementation of EU legislation. *J. Appl. Ecol. Early View*, 10.1111/1365-2664.12997
- Chucholl, C. (2013): Invaders for sale: Trade and determinants of introduction of ornamental freshwater crayfish. *Biol. Invasions* 15: 125-141.
- DWSV (2017): <http://schiffahrtsverein.de/>
- EC (European Commission) (2017): <https://circabc.europa.eu/faces/jsp/extension/wai/navigation/container.jsp>
- Essl, F., Bacher, S., Blackburn, T.M., Booy, O., Brundu, G., Brunel, S., Cardoso, A.-C., Eschen, R., Gallardo, B., Galil, B., García-Berthou, E., Genovesi, P., Groom, Q., Harrower, C., Hulme, P.E., Katsanevakis, S., Kenis, M., Kühn, I., Kumschick, S., Martinou, A.F., Nentwig, W., O'Flynn, C., Pagad, S., Pergl, J., Pyšek, P., Rabitsch, W., Richardson, D.M., Roques, A., Roy, H.E., Scalera, R., Schindler, S., Seebens, H., Vanderhoeven, S., Vilà, M., Wilson, J.R.U., Zenetos, A. & Jeschke, J.M. (2015): Crossing frontiers in tackling pathways of biological invasions. *Bioscience* 65: 769-782.
- Gollasch, S. & Matej, D. (2015): *Global maritime transport and ballast water management*. Springer, 306 S.
- Hulme, P.E. (2009): Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *J. Appl. Ecol.* 46: 10-18.
- Hulme, P.E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W., Olenin, S., Panov, V., Pergl, J., Pyšek, P., Roques, A., Sol, D., Solarz, W. & Vilà, M. (2008): Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *J. Appl. Ecol.* 45: 403-414.
- Humair, F., Humair, L., Kuhn, F. & Kueffer, C. (2015): E-commerce trade in invasive plants. *Conserv. Biol.* 29: 1658-1665.
- Jeschke, J.M., Keesing, F. & Ostfeld, R.S. (2013): Novel organisms: comparing invasive species, GMOs, and emerging pathogens. *Ambio* 42: 541-548.
- Katsanevakis, S., Zenetos, A., Belchior, C. & Cardoso, A.C. (2013): Invading European seas: assessing pathways of introduction of marine aliens. *Ocean Coast. Manag.* 76: 64-74.
- McGeoch, M.A., Genovesi, P., Bellingham, P.J., Costello, M.J., McGrannachan, C. & Sheppard, A. (2016): Prioritizing species, pathways, and sites to achieve conservation targets for biological invasion. *Biol. Invasions* 18: 299-314.
- Nehring, S. & Skowronek, S. (2017) Die invasiven gebietsfremden Arten der Unionsliste der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 - Erste Fortschreibung 2017. BfN-Skripten 471: 1-176.
- Nehring, S., Kowarik, I., Rabitsch, W. & Essl, F. (2013): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Gefäßpflanzen BfN-Skripten 352: 1-204.
- Nehring, S., Rabitsch, W., Kowarik, I. & Essl, F. (2015): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Wirbeltiere. BfN-Skripten 409: 1-222.
- Rabitsch, W. & Nehring, S. (2017): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. BfN-Skripten 458: 1-222.
- Roy, H.E., Bacher, S., Essl, F., Adriaens, T., Aldridge, D.C., Bishop, J.D., Blackburn, T.M., Branquart, E., Brodie, J., Carboneras, C., Cook, E.J., Copp, G.H., Dean, H.J., Eilenberg, J., Gallardo, B., Garcia, M., Garcia-Berthou, E., Genovesi, P., Hulme, P.E., Kenis, M., Kerckhof, F., Kettunen, M., Minchin, D., Nentwig, W., Nieto, A., Pergl, J., Pescott, O.L., Peyton, J., Preda, C., Rabitsch, W., Roques, A., Rorke, S.L., Scalera, R., Schindler, S., Schonrogge, K., Sewell, J., Solarz, W., Stewart, A.J., Tricarico, E., Vanderhoeven, S., van der Velde, G., Vilà, M., Wood, C.A. & Zenetos, A.: Horizon scanning for invasive alien species likely to threaten biodiversity in the European Union. *J. Appl. Ecol.*, eingereicht.
- Saul, W.-C., Roy, H.E., Booy, O., Carnevali, L., Chen, H.-J., Genovesi, P., Harrower, C.A., Hulme, P.E., Pagad, S., Pergl, J. & Jeschke, J.M. (2017): Assessing patterns in introduction pathways of alien species by linking major invasion databases. *J. Appl. Ecol.* 54: 657-669.
- UNEP (2014): Pathways of introduction of invasive species, their prioritization and management. Decision XII/17 CBD COP12. <http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-18/official/sbstta-18-09-add1-en.pdf>
- ZZF (2016): Die Deutschen begeistern sich für Heimtiere. <https://www.zzf.de/presse/meldungen/meldungen/article/die-deutschen-begeistern-sich-fuer-heimtiere.html>

Analysis and prioritisation of pathways of unintentional introduction and spread of invasive alien species in Germany in accordance with Regulation (EU) No 1143/2014

1 INTRODUCTION

On 1.1.2015, Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species came into force. Invasive alien species may pose a threat to and have an adverse impact on native species and habitats, including priority species and habitats such as those listed in the Annexes to the Habitats Directive, as well as those strictly protected under the German species protection ordinance (BArtSchV), and species for which Germany has a special responsibility.

The EU Regulation's approach to invasive alien species is based on the three-level hierarchical principle of the Convention on Biological Diversity (CBD). The Regulation contains provisions for the (i) prevention, (ii) early detection and rapid eradication and (iii) management of invasive alien species that are widely spread. At the centre of the Regulation is a list of invasive alien species of Union concern (Union list). The first version of this list, which came into force on 3.8.2016, included 37 species. An extended version which included 49 species became effective on 2.8.2017 (except for the inclusion of the racoon dog which is to become effective on 2.2.2019) (Nehring & Skowronek 2017). Future extensions of the Union list are planned and currently underway, at different preparation stages.

The Regulation aims at preventing the intentional introduction of these species through a variety of restrictions, e.g. by prohibiting ownership and the placing on the market (Article 7 of the EU Regulation). Invasive alien species may not be intentionally a) brought into the territory of the Union, including transit under customs supervision b) kept, including in contained holding; c) bred, including in contained holding; d) transported to, from or within the Union, except for the transportation of species to facilities in the context of eradication; e) placed on the market; f) used or exchanged; g) permitted to reproduce, grown or cultivated, including in contained holding; or h) released into the environment.

On the other hand, the unintentional introduction of these species is to be prevented primarily through appropriate preventive measures which are aimed at pathways of introduction. These pathways are those routes and mechanisms which lead to the movement of a species outside its natural range as a consequence of human intervention. Where preventive measures fail and species end up in the natural environment, it is important to prevent further spread. Pathways of spread are those routes and mechanisms which lead to an extension or shift of the natural range of alien species after they have been introduced.

According to Article 13 para 1 of the EU Regulation, each of the Member States has to provide for its territory an analysis and prioritisation of the unintentional (non-deliberate) pathways of introduction and spread for the species on the Union list by the beginning of 2018. As prioritisation criteria, the EU Regulation proposes species volume or potential damage. Building on these "priority pathways", each Member State has to develop – according to Article 13 para 2 of the EU Regulation – one single action plan or a set of action plans which are aimed at the prevention of the unintentional introduction and spread of species from the Union list into or within the European Union.

In our study, the method applied for the prioritisation of pathways and the results obtained for Germany are presented and discussed.

2 METHODOLOGY AND DATA

In invasion ecology, the process of an invasion is usually described as a progressive process which can be divided into several stages: transport into the reference area, escape or release into the open environment, establishment and spread (Blackburn et al. 2011, Jeschke et al. 2013). Alien species can reach the reference area through a variety of pathways (introduction pathways); they can enter the environment (not under human care) through different routes (escape or release pathways); and they can spread through different routes (spread pathways). In the EU Regulation the term “introduction” covers both introduction and release/escape. For the purpose of the prioritisation presented here the pathways have been split into three invasion stages (introduction, escape or release, and spread incl. establishment) (Box 1).

BOX 1

Introduction pathways: describe routes and mechanisms through which an alien species reaches the reference area

Escape or release pathways: describe routes and mechanisms through which an alien species enters the natural environment (not under human care)

Spread pathways: describe routes and mechanisms that lead to extensions and/or shifts of an alien species’ area of distribution.

2.1 Definitions

There are many possible introduction pathways and accordingly, many different classifications and terminologies. For the prioritisation of pathways, the European Commission proposes the use of a classification system proposed recently by the Convention on Biological Diversity (CBD) (UNEP 2014). The CBD pathway categories are based on Hulme et al. (2008) and consist of six main categories: i) Release in nature; ii) Escape from confinement; iii) Contaminant; iv) Stowaway; v) Corridor; vi) Unaided. In the main categories, there are up to 12 pathways for different routes and mechanisms. Ideally, there is no overlap between these pathways and an unambiguous assignment can be made. In practice, however, there are cases where the assessor has room for interpretation. For the purpose of our prioritisation, a slightly adapted version of the CBD scheme has been used, and the pathways have been considered for each of the invasion stages introduction, escape or release, and spread. This scheme has also been used in the new version of the “nature conservation risk assessment methodology for invasive alien species 2.0” (BfN in prep., see Table 2). A species may, for example, be introduced intentionally for horticultural purposes (introduction pathway), then enter the environment by being released or by escaping unintentionally (release or escape pathway), and it may spread without human intervention (spread pathway).

The adaptation of the CBD scheme includes the following elements:

- textual alterations to provide a better definition of the individual pathways
- further categorisation into “intentional” and “unintentional” pathway categories
- adding the main category “unknown”
- assignment of pathways according to three stages (introduction, release or escape, spread)

When a species goes through these invasion stages, it will not always be possible to clearly identify the three stages and there will be invariably some overlaps between one and the other event. If, for instance, a species reaches the reference area through a corridor (e.g. a waterway) without outside help, this introduction (arrival in the reference area) can also be considered as a release or escape (occurrence in the natural environment). On the other hand, it does not make sense to use the category “escape from cultivation and contained holding” as an introduction pathway as well.

Since this project is concerned with a prioritisation of unintentional pathways, the intentional pathways (of the pathway category “direct release into the environment”, BfN in prep.) are not considered here.

2.2 Species selection

According to the EU Regulation, the prioritisation of pathways should be based on the species of the Union list which included 37 species at the time when our study was prepared (Nehring & Skowronek 2017). Given the small number of this selection, especially when compared with the number of alien species in Europe (about 12,000, of which 10% are estimated to be invasive), there is a risk of obtaining an inaccurate picture of the pathways’ importance. Marine species, for instance, and important pathways in this context are under-represented on the Union list. To account for this, our analysis has been extended to include a wider selection, namely all the species listed as invasive in Germany according to the German Agency for Nature Conservation (an additional 93 species) in addition to the 37 species of Union concern. The wider group also includes the 12 species of the first extension of the Union list, which had not entered into force at the time of our analysis. Both groups (the Union list and the species listed as invasive in Germany) are analysed separately and compared to each other. In total, 130 species have been analysed for our prioritisation (Table 1).

Table 1: The 37 species from the first Union list (x) (EU LIST) and the species listed as invasive in Germany which have been analysed for this study. The twelve species from the first update of the Union list are also labelled (y) (EU LIST). Species with a large-scale distribution in Germany are labelled with an asterisk*.

EU LIST	Tax. group	Species name (scient.)	Species name (engl.)	Habitat
x	Plants	<i>Baccharis halimifolia</i>	Eastern baccharis	terrestrial
x	Plants	<i>Cabomba caroliniana</i>	Fanwort	freshwater
x	Plants	<i>Eichhornia crassipes</i>	Water hyacinth	freshwater
x	Plants	<i>Heracleum persicum</i>	Persian hogweed	terrestrial
x	Plants	<i>Heracleum sosnowskyi</i>	Sosnowsky's hogweed	terrestrial
x	Plants	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Floating pennywort	freshwater
x	Plants	<i>Lagarosiphon major</i>	Curly waterweed	freshwater
x	Plants	<i>Ludwigia grandiflora</i>	Water-primrose	freshwater
x	Plants	<i>Ludwigia peploides</i>	Floating primrose-willow	freshwater
x	Plants	<i>Lysichiton americanus</i>	American skunk cabbage	terrestrial
x	Plants	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Parrot's feather	freshwater
x	Plants	<i>Parthenium hysterophorus</i>	Whitetop weed	terrestrial

EU LIST	Tax. group	Species name (scient.)	Species name (engl.)	Habitat
x	Plants	<i>Persicaria perfoliata</i>	Asiatic tearthumb	terrestrial
x	Plants	<i>Pueraria lobata</i>	Kudzu vine	terrestrial
x *	Invertebrates	<i>Eriocheir sinensis</i>	Chinese mitten crab	freshwater
x *	Invertebrates	<i>Orconectes limosus</i>	Spiny-cheek crayfish	freshwater
x	Invertebrates	<i>Orconectes virilis</i>	Virile crayfish	freshwater
x *	Invertebrates	<i>Pacifastacus leniusculus</i>	Signal crayfish	freshwater
x	Invertebrates	<i>Procambarus clarkii</i>	Red swamp crayfish	freshwater
x	Invertebrates	<i>Procambarus fallax f. virginalis</i>	Marbled crayfish	freshwater
x	Invertebrates	<i>Vespa velutina nigrithorax</i>	Asian hornet	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Callosciurus erythraeus</i>	Pallas' squirrel	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Corvus splendens</i>	Indian house crow	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Herpestes javanicus</i>	Small Asian mongoose	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Lithobates catesbeianus</i>	American bullfrog	freshwater
x	Vertebrates	<i>Muntiacus reevesi</i>	Muntjac deer	terrestrial
x *	Vertebrates	<i>Myocastor coypus</i>	Coypu	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Nasua nasua</i>	Coati	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Oxyura jamaicensis</i>	Ruddy duck	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Percottus glenii</i>	Amur sleeper	freshwater
x *	Vertebrates	<i>Procyon lotor</i>	Raccoon	terrestrial
x *	Vertebrates	<i>Pseudorasbora parva</i>	Stone moroko	freshwater
x	Vertebrates	<i>Sciurus carolinensis</i>	Grey squirrel	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Sciurus niger</i>	Fox squirrel	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Tamias sibiricus</i>	Siberian chipmunk	terrestrial
x	Vertebrates	<i>Threskiornis aethiopicus</i>	Sacred ibis	terrestrial
x *	Vertebrates	<i>Trachemys scripta</i>	Red-eared, yellow-bellied and Cumberland sliders	freshwater
*	Algae	<i>Coscinodiscus wailesii</i>	–	marine
*	Algae	<i>Fibrocapsa japonica</i>	–	marine
	Algae	<i>Fucus evanescens</i>	Northern claw-wrack	marine
*	Algae	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	–	marine
	Algae	<i>Pseudochattonella verruculosa</i>	–	marine
*	Algae	<i>Sargassum muticum</i>	Japanese wireweed	marine
	Algae	<i>Undaria pinnatifida</i>	Wakame	marine
	Fungi	<i>Cryptostroma corticale</i>	Sooty bark disease of sycamore	terrestrial
*	Fungi	<i>Cylindrocladium buxicola</i>	Box blight	terrestrial
	Fungi	<i>Dothistroma septosporum</i>	Brown needle blight of pine	terrestrial

EU LIST	Tax. group	Species name (scient.)	Species name (engl.)	Habitat
*	Fungi	<i>Erysiphe alphitoides</i>	Powdery mildew of oak	terrestrial
*	Fungi	<i>Hymenoscyphus fraxineus</i>	Ash dieback	terrestrial
	Fungi	<i>Lecanosticta acicola</i>	Needle blight of pine	terrestrial
*	Fungi	<i>Ophiostoma novo-ulmi</i>	Dutch elm disease	terrestrial
*	Fungi	<i>Ophiostoma ulmi</i>	Dutch elm disease	terrestrial
*	Fungi	<i>Phytophthora alni</i>	Root disease of alder	terrestrial
	Fungi	<i>Phytophthora cambivora</i>	Ink disease of chestnut	terrestrial
*	Fungi	<i>Phytophthora citricola</i>	Brown rot of citrus fruits	terrestrial
	Fungi	<i>Seiridium cardinale</i>	Cypress canker	terrestrial
*	Fungi	<i>Venturia inaequalis</i>	Apple scab	terrestrial
*	Plants	<i>Acer negundo</i>	Ashleaf maple	terrestrial
*	Plants	<i>Ailanthus altissima</i>	Tree of heaven	terrestrial
y	Plants	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	Alligator weed	freshwater
y	Plants	<i>Asclepias syriaca</i>	Common milkweed	terrestrial
*	Plants	<i>Azolla filiculoides</i>	Water fern	freshwater
	Plants	<i>Crassula helmsii</i>	Swamp stonecrop	freshwater
*	Plants	<i>Cynodon dactylon</i>	Bermuda grass	terrestrial
*	Plants	<i>Elodea canadensis</i>	Canadian waterweed	freshwater
y *	Plants	<i>Elodea nuttallii</i>	Nuttall's waterweed	freshwater
*	Plants	<i>Epilobium ciliatum</i>	Fringed willowherb	terrestrial
*	Plants	<i>Fallopia bohemica</i>	Bohemian knotweed	terrestrisch
*	Plants	<i>Fallopia japonica</i>	Japanese knotweed	terrestrial
*	Plants	<i>Fallopia saccalinensis</i>	Sakhalin knotweed	terrestrial
	Plants	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Red ash	terrestrial
*	Plants	<i>Galeobdolon argentatum</i>	Yellow archangel	terrestrial
y	Plants	<i>Gunnera tinctoria</i>	Chilean rhubarb	terrestrial
y *	Plants	<i>Heracleum mantegazzianum</i>	Giant hogweed	terrestrial
y *	Plants	<i>Impatiens glandulifera</i>	Indian balsam	terrestrial
	Plants	<i>Ludwigia x kentiana</i>	Hybrid Hampshire purslane	freshwater
*	Plants	<i>Lupinus polyphyllus</i>	Large-leaved lupine	terrestrial
y	Plants	<i>Microstegium vimineum</i>	Japanese stiltgrass	terrestrial
y	Plants	<i>Myriophyllum heterophyllum</i>	Broadleaf watermilfoil	freshwater
y	Plants	<i>Pennisetum setaceum</i>	Crimson fountaingrass	terrestrial
*	Plants	<i>Phedimus spurius</i>	Caucasian stonecrop	terrestrial
*	Plants	<i>Pinus strobus</i>	Weymouth pine	terrestrial
*	Plants	<i>Populus canadensis</i>	Canadian poplar	terrestrial

EU LIST	Tax. group	Species name (scient.)	Species name (engl.)	Habitat
*	Plants	<i>Prunus serotina</i>	Black cherry	terrestrial
*	Plants	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Douglas fir	terrestrial
*	Plants	<i>Quercus rubra</i>	Northern red oak	terrestrial
	Plants	<i>Rhododendron ponticum</i>	Pontic rhododendron	terrestrial
*	Plants	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Black locust	terrestrial
*	Plants	<i>Rosa rugosa</i>	Rugosa rose	terrestrial
	Plants	<i>Sarracenia purpurea</i>	Purple pitcher plant	terrestrial
*	Plants	<i>Solidago canadensis</i>	Canadian goldenrod	terrestrial
*	Plants	<i>Solidago gigantea</i>	Giant goldenrod	terrestrial
*	Plants	<i>Spartina anglica</i>	Common cord-grass	marine
*	Plants	<i>Symphotrichum lanceolatum</i>	Panicled aster	terrestrial
*	Plants	<i>Symphotrichum novi-belgii</i>	New York aster	terrestrial
*	Plants	<i>Syringa vulgaris</i>	Common lilac	terrestrial
*	Invertebrates	<i>Anguillicoloides crassus</i>	–	freshwater
*	Invertebrates	<i>Arion vulgaris</i>	Spanish slug	terrestrial
*	Invertebrates	<i>Astacus leptodactylus</i>	Slender-clawed crayfish	freshwater
*	Invertebrates	<i>Chelicorophium curvispinum</i>	Caspian mud shrimp	freshwater
*	Invertebrates	<i>Corbicula fluminalis</i>	Asian clam	freshwater
*	Invertebrates	<i>Corbicula fluminea</i>	Asian clam	freshwater
*	Invertebrates	<i>Crassostrea gigas</i>	Pacific oyster	marine
*	Invertebrates	<i>Cydalima perspectalis</i>	Box tree moth	terrestrial
	Invertebrates	<i>Didemnum vexillum</i>	Carpet sea squirt	marine
*	Invertebrates	<i>Dikerogammarus villosus</i>	Killer shrimp	freshwater
	Invertebrates	<i>Dreissena bugensis</i>	Quagga mussel	freshwater
*	Invertebrates	<i>Dreissena polymorpha</i>	Zebra mussel	freshwater
*	Invertebrates	<i>Ensis directus</i>	Atlantic jackknife clam	marine
*	Invertebrates	<i>Gammarus tigrinus</i>	–	freshwater
*	Invertebrates	<i>Harmonia axyridis</i>	Asian ladybird	terrestrial
	Invertebrates	<i>Lasius neglectus</i>	Garden ant	terrestrial
	Invertebrates	<i>Orconectes immunis</i>	Calico crayfish	freshwater
*	Invertebrates	<i>Varroa destructor</i>	Varroa mite	terrestrial
	Vertebrates	<i>Acipenser baerii</i>	Siberian sturgeon	freshwater
	Vertebrates	<i>Alectoris chukar</i>	Chukar	terrestrial
y *	Vertebrates	<i>Alopochen aegyptiacus</i>	Egyptian goose	terrestrial
*	Vertebrates	<i>Ameiurus melas</i>	Black bullhead	freshwater
*	Vertebrates	<i>Ameiurus nebulosus</i>	Brown bullhead	freshwater

EU LIST	Tax. group	Species name (scient.)	Species name (engl.)	Habitat
*	Vertebrates	<i>Cervus nippon</i>	Sika deer	terrestrial
*	Vertebrates	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Grass carp	freshwater
*	Vertebrates	<i>Neogobius melanostomus</i>	Round goby	freshwater
*	Vertebrates	<i>Neovison vison</i>	American mink	terrestrial
y *	Vertebrates	<i>Nyctereutes procyonoides</i>	Raccoon dog	terrestrial
*	Vertebrates	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Rainbow trout	freshwater
y *	Vertebrates	<i>Ondatra zibethicus</i>	Muskrat	terrestrial
	Vertebrates	<i>Pelophylax bedriagae</i>	Levant water frog	freshwater
	Vertebrates	<i>Pimephales promelas</i>	Fathead minnow	freshwater
*	Vertebrates	<i>Rattus norvegicus</i>	Brown rat	terrestrial
	Vertebrates	<i>Triturus carnifex</i>	Italian crested newt	terrestrial

2.3 Analyses

Pathways of introduction, release or escape and spread to and in Germany were identified for the selected 130 alien species, according to the terminology of the CBD pathways. For this purpose, data from available EU risk assessments (EC 2017) and from nature conservation risk assessment methodologies for invasive alien species (Nehring et al. 2013, 2015, Rabitsch & Nehring 2018, in prep.) were analysed and supplemented by additional information (e.g. www.cabi.org/isc; www.eppo.int).

In the following, the 37 species from the Union list and the 93 species listed as invasive in Germany are considered separately. This ensures compliance with the requirements of the EU Regulation on the one hand (“comprehensive analysis of the pathways of unintentional introduction and spread of invasive alien species of Union concern”, Article 13 para 1) and, on the other hand, the conclusions arrived at for the relatively small group of Union species can be compared with a larger data set. In addition, species with a small-scale distribution in Germany, absent species or species whose distribution is unknown have been evaluated together as a group (30 species from the Union list and 28 of Germany’s invasive species). Also, an analysis of Germany’s invasive species without algae and fungi (73 species) has been performed in order to facilitate direct comparison with the species on the Union list.

In some cases, there are uncertainties about the scientific knowledge regarding the “use” of the pathways by the species. Concrete and evidence-based data are not always available and sometimes the pathway is not known. However, in many of these cases a very likely pathway can be assumed on the basis of the species’ invasion history and biology. Such expert assessments have been used for our analyses and are shown with a separate comment (“likely”). Pathways have also been analysed in terms of the species’ taxonomic group (plants, vertebrates, invertebrates, algae, fungi) and habitats (terrestrial, freshwater, marine).

2.4 Prioritisation

Article 13 para 1 of the EU Regulation proposes two criteria for the prioritisation of pathways without giving further details: volume of species and potential damage. Our preliminary studies showed that a prioritisation based on estimates of the volume of species did not differ much from a prioritisation

based on estimates of potential damage. The results achieved when using two different methods to estimate the volume of species were not very different either. We therefore decided to use a method for which the best data were available – a prioritisation based on the number of species using a particular pathway.

We thus define the “volume of species” as the sum of species that are certain or likely to use a particular pathway. “Likely” refers to pathways that species are very likely to use, in the assessment of experts, but for which there is no record. This applies also to pathways of introduction for species that are absent in Germany. The prioritisation hence results from the sum of pathway nominations across all three invasion stages combined. This means that for one species a pathway can be represented up to three times in total. The higher the number of nominations for a pathway, the higher is his priority.

3 RESULTS

Table 2 gives an overview of the number of nominations of pathways which have been identified for the 37 species on the Union list and for the 93 species listed as invasive in Germany, referring to the invasion stages introduction, release or escape, and spread.

Table 2: Overview and description of pathways of unintentional introduction, release or escape, and spread (amended according to UNEP 2014, see also BfN in prep.). The description shows for which stage of the invasion (introduction, release or escape, and spread) the pathway is relevant. The number of nominations corresponds to the sum of unintentional pathways used by the analysed 37 species from the Union list (EU-LIST) and the other 93 species listed as invasive in Germany (D-IAS) during the three stages (including multiple nominations as a species may use more than one pathway). Pathway categories: 1) Escape from confinement, 2) Contamination of transported goods, 3) Stowaways in or on means of transport, 4) Unassisted (corridor), 5) Unaided (unsupported by humans), 6) Unknown.

Pathway category	Pathway	Description	Example	Number of nominations (EU LIST)	Number of nominations (D-IAS)
1	Agriculture (incl. energy plants)	Introduction/escape or release of alien species because of their use in agricultural production (e.g. food, energy).	<i>Pueraria lobata</i> (Kudzu vine)	1	1
1	Aquaculture (limnic and marine)	Introduction/escape or release of alien species because of their use in food production, e.g. in fish farms.	<i>Crassostrea gigas</i> (Pacific oyster)	2	11
1	Botanic garden / zoo (enclosure, public aquarium)	Introduction/escape or release of alien species because of their presentation in botanic gardens or zoos.	<i>Muntiacus reevesi</i> (Muntjac deer)	13	15
1	Pet trade / aquaristics / terrarium	Introduction/escape or release of alien species because of their use as (non-domestic) pets, usually kept indoors (terrestrial or aquatic).	<i>Trachemys scripta</i> (Red-eared, yellow-bellied and Cumberland sliders)	21	18
1	Animal breeding (excl. aquaculture and fur animal farms)	Introduction/escape or release of alien species because of their breed and their use as working animals or food source.	<i>Lithobates catesbeianus</i> (American bullfrog)	1	1
1	Fur farms	Introduction/escape or release of alien species because of their use in fur production.	<i>Neovison vison</i> (American mink)	2	3
1	Forestry	Introduction/escape or release of alien species because of their use in forestry.	<i>Populus canadensis</i> (Canadian poplar)	0	15
1	Horticulture (excl. ornamental plants)	Introduction/escape or release of alien species during the growing and/or use of new plant varieties in horticultural gardening (e.g. fruit growing).	<i>Rosa rugosa</i> (Rugosa rose)	0	10
1	Ornamental species (animals and plants)	Introduction/escape or release of alien species because of their use as ornamental plants and ornamental animals, usually outdoors, e.g. in public and private parks and gardens (incl. garden ponds).	<i>Lysichiton americanus</i> (American skunk cabbage)	19	43

Pathway category	Pathway	Description	Example	Number of nominations (EU LIST)	Number of nominations (D-IAS)
1	Research and ex-situ breeding	Introduction/escape or release of alien species because of their use for research purposes and for ex-situ breeding in laboratories.	<i>Perccottus glenii</i> (Amur sleeper)	0	4
1	Livefood and animals used as baits	Introduction/escape or release of alien species because of their use as livefood for humans, feeding animals and/or baits (e.g. angling).	<i>Pseudorasbora parva</i> (Stone moroko)	7	7
1	Other reasons	Introduction/escape of alien species because of other uses (e.g. plants as boundaries between plots of land or grazing areas).	–	0	0
2	With material from garden centres and tree nurseries (e.g. potting soil)	Introduction/escape or release/spread of alien species during activities in garden centres and tree nurseries. Here not only the plants themselves are transported but also the substrate in which they grow, which may itself contain a number of organisms (e.g. insects, fungi, plant seeds).	<i>Arion vulgaris</i> (Spanish slug)	4	44
2	With baits	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of baits (e.g. for angling) in which these alien species are contained and/or to which they are attached.	–	0	0
2	In or on food (incl. storage pests)	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of food (e.g. fruit and vegetables) in which these alien species are contained and/or to which they are attached.	<i>Ludwigia x kentiana</i> (Hybrid Hampshire purslane)	0	4
2	In or on animals (excl. bio-vectors)	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of animals in which these alien species are contained and/or to which they are attached e.g. plant seeds (except parasites, commensals, pathogens in/on their host/bio-vector).	<i>Parthenium hysterophorus</i> (Whitetop weed)	5	4
2	In or on animal bio-vectors	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of animals (hosts) in which these alien species are contained and/or to which they are attached as parasites, commensals or pathogens.	<i>Anguillicoloides crassus</i> (–)	0	18
2	On live plants (excl. bio-vectors)	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of live plants in which these alien species are contained and/or to which they are attached, e.g. insects or seeds of another plant (except parasites, commensals, pathogens in/on their host/bio-vector).	<i>Arion vulgaris</i> (Spanish slug)	5	14

Pathway category	Pathway	Description	Example	Number of nominations (EU LIST)	Number of nominations (D-IAS)
2	In or on plant bio-vectors	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of plants (hosts) in which these alien species are contained and/or to which they are attached as parasites, commensals or pathogens, e.g. fungi, viruses, mites).	<i>Hymenoscyphus fraxineus</i> (Ash dieback)	0	30
2	Contamination of seeds, bird seeds, stocking (for fisheries) or similar material	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of seeds in which these alien species are contained e.g. seeds of another plant variety, contamination of bird seeds, stocking (for fisheries) or similar material.	<i>Parthenium hysterophorus</i> (Whitetop weed)	5	3
2	Wood shipments	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of wood in which these alien species are contained and/or to which they are attached.	<i>Phytophthora alni</i> (Root disease of alder)	3	15
2	Contamination of soil, gravel, dead plants (e.g. hay, straw) or similar material (e.g. in earthworks or landscaping)	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of soil, gravel, dead plants or other plant products (e.g. hay, garden waste) or similar materials in which these alien species are contained.	<i>Heracleum persicum</i> (Persian hogweed)	15	26
3	Fishing and angling accessories	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of angling, fishing and aquaculture accessories (e.g. boats, buoys) in which these species are contained and/or to which they are attached, e.g. growth.	<i>Ludwigia grandiflora</i> (Water-primrose)	12	16
3	Freight container	Introduction/escape or release/spread of alien species during transports of containers (e.g. via sea ports, airports or railway stations) in which these species are contained and/or to which they are attached.	<i>Rattus norvegicus</i> (Brown rat)	7	15
3	In or on aeroplanes	Introduction/escape or release/spread of alien species via aeroplanes in which these species are contained and/or to which they are attached.	<i>Parthenium hysterophorus</i> (Whitetop weed)	1	0
3	In or on ships (excl. ballast water and on the body of ships)	Introduction/escape or release/spread of alien species via ships, e.g. rodents which live on ships and reach the shore from there.	<i>Rattus norvegicus</i> (Brown rat)	15	14
3	In or on devices / machinery / equipment	Introduction/escape or release/spread of alien species via machinery in which these species are contained and/or to which they are attached, e.g. parts of plants/seeds or insects.	<i>Pennisetum setaceum</i> (Crimson fountaingrass)	13	20

Pathway category	Pathway	Description	Example	Number of nominations (EU LIST)	Number of nominations (D-IAS)
3	Organic packaging material (incl. wood)	Introduction/escape or release/spread of alien species via organic packaging material (e.g. untreated wooden pallets).	<i>Ophiostoma novo-ulmi</i> (Dutch elm disease)	2	10
3	In or on humans or in their luggage (incl. tourism)	Introduction/escape or release/spread of alien species which are contained in or attached to travellers (e.g. attached to their clothes), their luggage, especially in the context of tourism.	<i>Heracleum persicum</i> (Persian hogweed)	9	8
3	Ballast water	Introduction/escape or release/spread of alien species via ballast water (shipping)	<i>Eriocheir sinensis</i> (Chinese mitten crab)	3	46
3	Growth / accumulation on the body of ships	Introduction/escape or release/spread of alien species which accumulate on the body of ships (e.g. mussels, algae).	<i>Dreissena polymorpha</i> (Zebra mussel)	4	39
3	In or on cars and trains (along roadways and railway lines)	Introduction/escape or release/spread of alien species via cars, trucks and trains in which these species are contained and/or to which they are attached.	<i>Heracleum persicum</i> (Persian hogweed)	13	19
3	Other means of transport	Introduction/escape or release/spread of alien species via other means of transport in which these species are contained and/or to which they are attached.	<i>Vespa velutina</i> (Asian hornet)	3	0
4	Unassisted dispersal along canals or waterways between river basins / seas	Movement/spread of alien species along canals or waterways which connect e.g. river basins, lakes or seas.	<i>Neogobius melanostomus</i> (Round goby)	26	60
4	Unassisted dispersal along terrestrial transport infrastructure (e.g. roadways, railway tracks, through tunnels and across land bridges)	Movement/spread of alien species along terrestrial transport infrastructure (e.g. along roadways, railway lines, through tunnels between mountain valleys or to islands across land bridges).	<i>Ailanthus altissima</i> (Tree-of-heaven)	6	17

Pathway category	Pathway	Description	Example	Number of nominations (EU LIST)	Number of nominations (D-IAS)
5	Applies to alien species moving without human help from directly adjacent areas into the reference area, after having been introduced into the adjacent area through one of the aforementioned pathways	Refers to alien species whose spread in the reference area occurs without human help, or which move without help from directly adjacent areas into the reference area, after having been introduced into this area through one of the aforementioned pathways.	<i>Nyctereutes procyonoides</i> (Raccoon dog)	63	121
6	Unknown			0	15

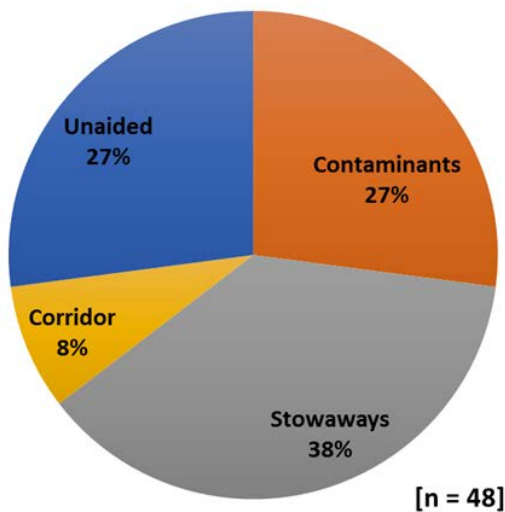
3.1 Pathway categories and pathways used by the 37 Union list species

The pathways “without human help”, “unassisted dispersal along canals or waterways”, “pet trade / aquaristics / terraristics” and “ornamental species (animals and plants)” show the highest number of species, that use these pathways. However, differences appear if invasion stages are considered separately.

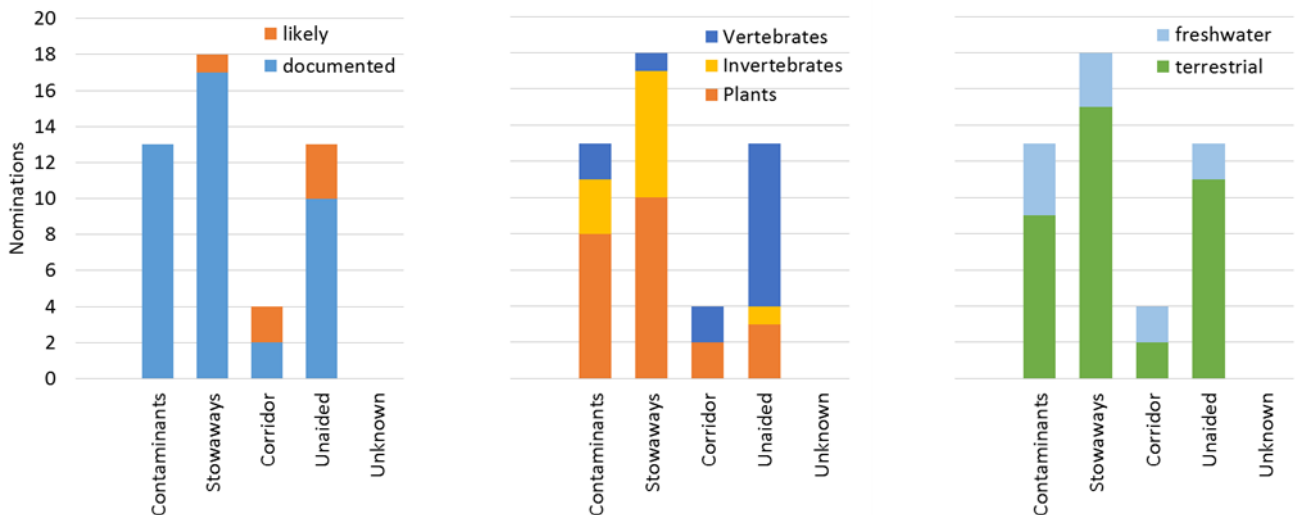
Introduction: Pathways in the category “stowaways” (e.g. “in or on appliances / machinery / equipment” and “in or on cars and trains”) dominate with a share of 38% (Fig. 1a, Tab. 3). These pathways mostly apply to terrestrial plants. The next category is “contamination of transported goods” (27%, e.g. “contamination of soil etc.” and “contamination of seeds, bird seeds, stocking (for fisheries) or similar material” (Fig. 1d and 1e). In 13 cases it is documented or likely (e.g. for seven species not yet occurring in Germany) that they have moved, or might move, to Germany without human help from directly adjacent areas to which they are not native (“without human help”, 27%, e.g. *Corvus splendens*, *Vespa velutina*; Fig. 1c). In the case of invertebrates and plants, “stowaways” and “contamination” are the dominating categories (Fig. 1b).

a)

Unintentional introduction (EU LIST: 37 species)



b)



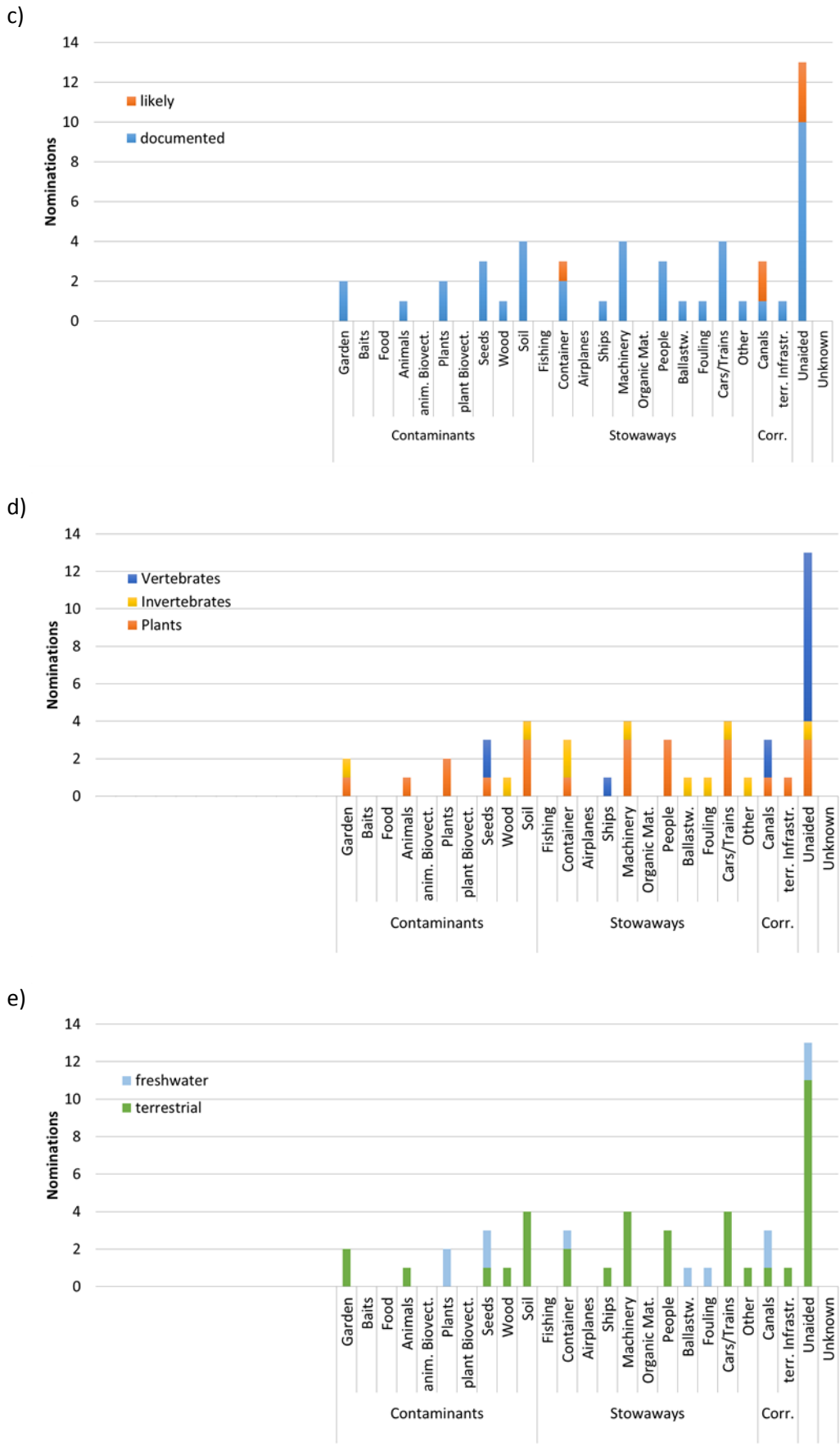
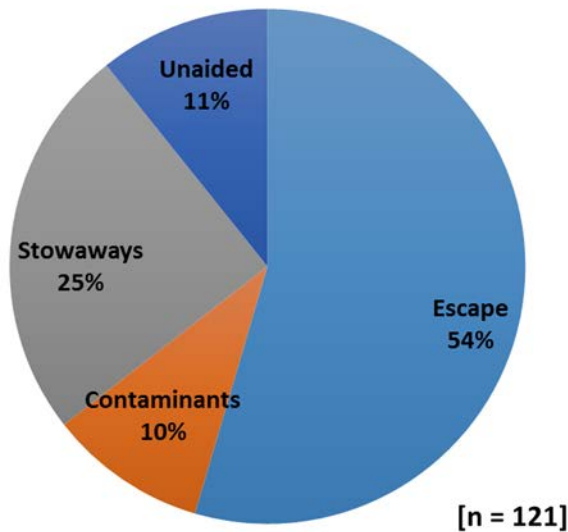


Figure 1: a) relative shares (pie charts) and b) absolute frequencies (bar charts) for pathway categories of unintentional introduction for the 37 species on the Union list. [n=48] stands for the total number of pathway nominations for the species during this stage, which is higher than the total species number since some species use more than one pathway. For absolute frequencies, a distinction is made between c) documented and likely pathways, d) taxonomic groups and e) habitats.

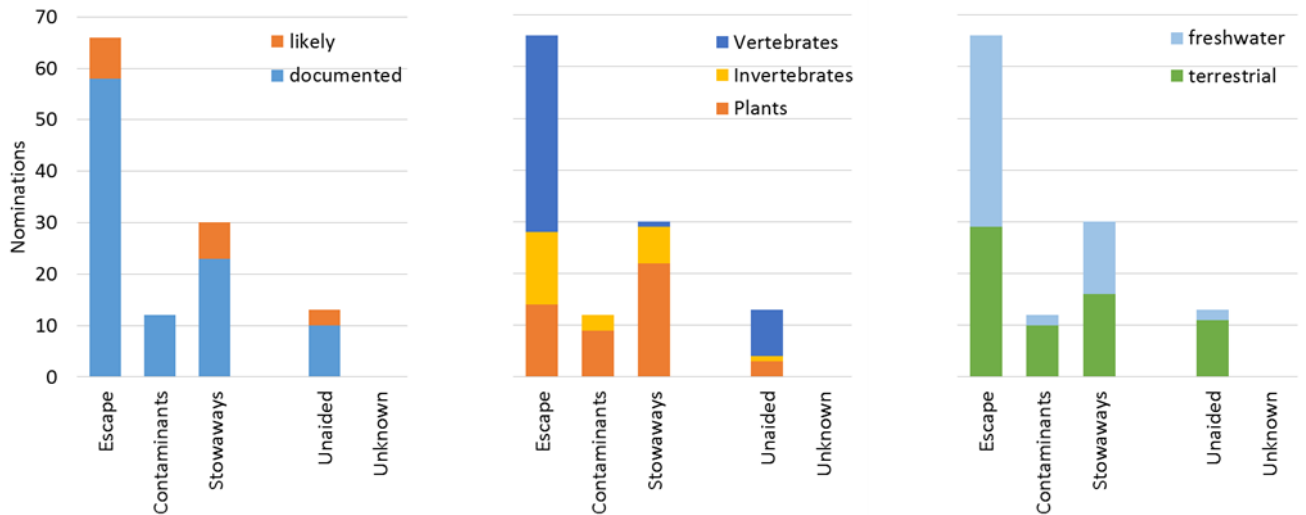
Release or escape: Pathways in the category “escape from cultivation or holding”, e.g. “pet trade/aquaristics/terrariums” dominate with a share of 54% and a clear emphasis on aquatic species, “ornamental species (animals and plants)” and “botanic gardens/zoo/enclosure/public aquarium”; and with more than half of the nominations in this category accounted for by invertebrates (Fig. 2a, 2b, 2d, 2e, Table 3). Next in importance is the category “stowaways” (25%) where the shares of terrestrial and aquatic species are equal (Fig. 2b).

a)

Unintentional release or escape (EU LIST: 37 species)



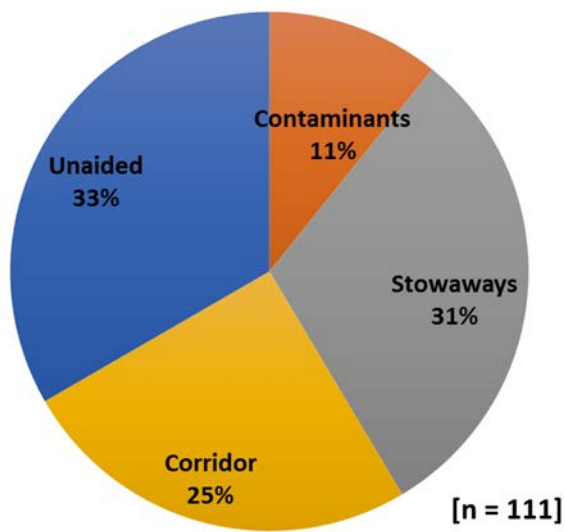
b)



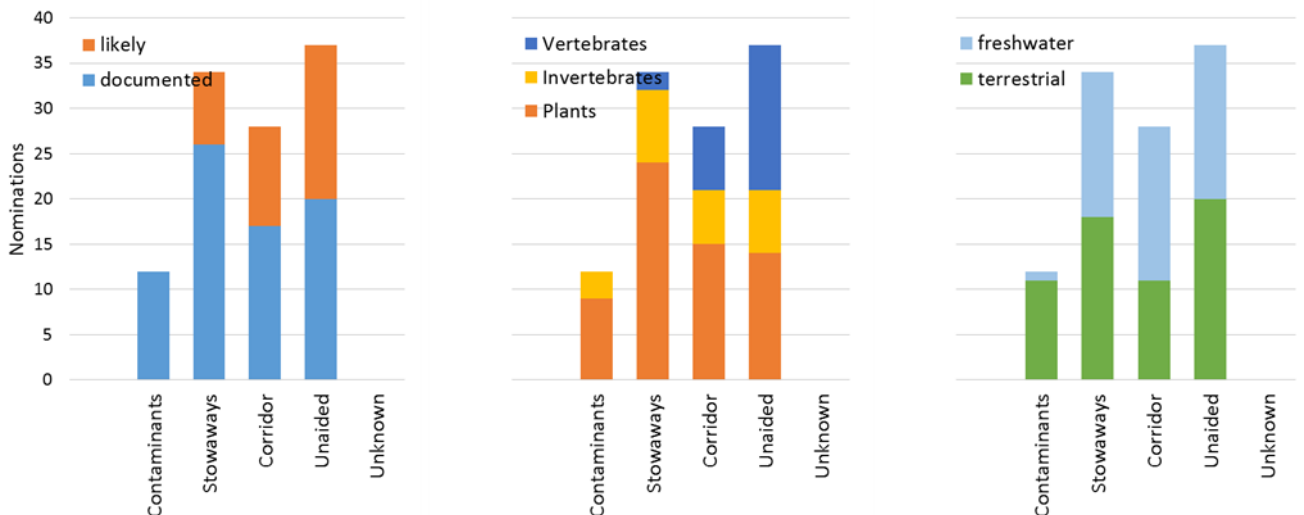
Spread: Unassisted spread “without human help” (33%) and spread along “corridors” (canals or terrestrial infrastructures) are dominating (25%) (Fig. 3a, Table 3). These pathways are used by plants and animals at almost the same frequency, and also by terrestrial and freshwater organisms (Fig. 3b, 3d, 3e). They are followed by a number of pathways of almost the same importance in the categories “stowaways” (“in or on ships”, “fishing or angling accessories”, “in or on devices / machinery / equipment”, “in or on cars and trains”), and “contamination” (“contamination of soil etc.”) (Fig. 3a, 3c). Here the share of pathway assignments classified as only “likely” is higher than for the introduction and the release or escape stages (Fig. 3b, 3c).

a)

Unintentional spread (EU LIST: 37 species)



b)



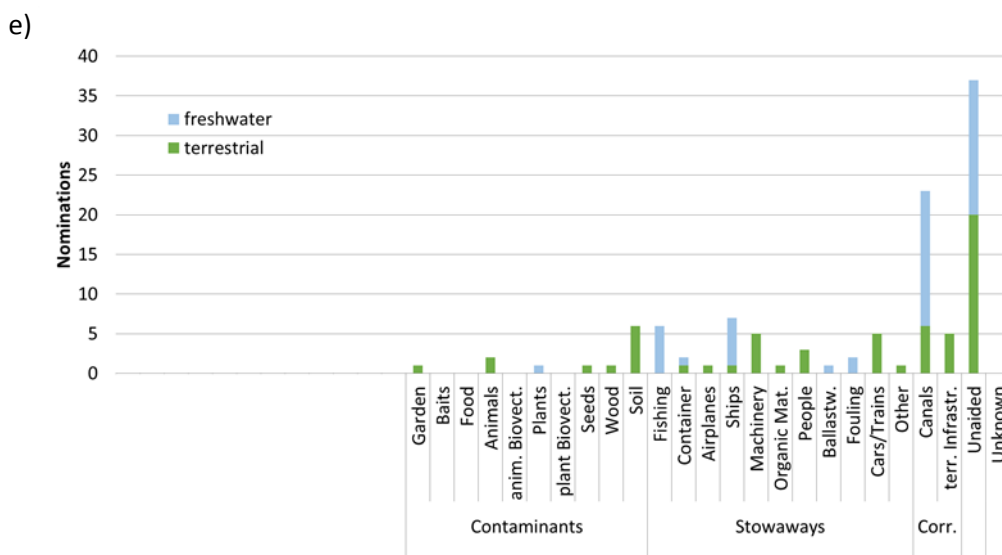
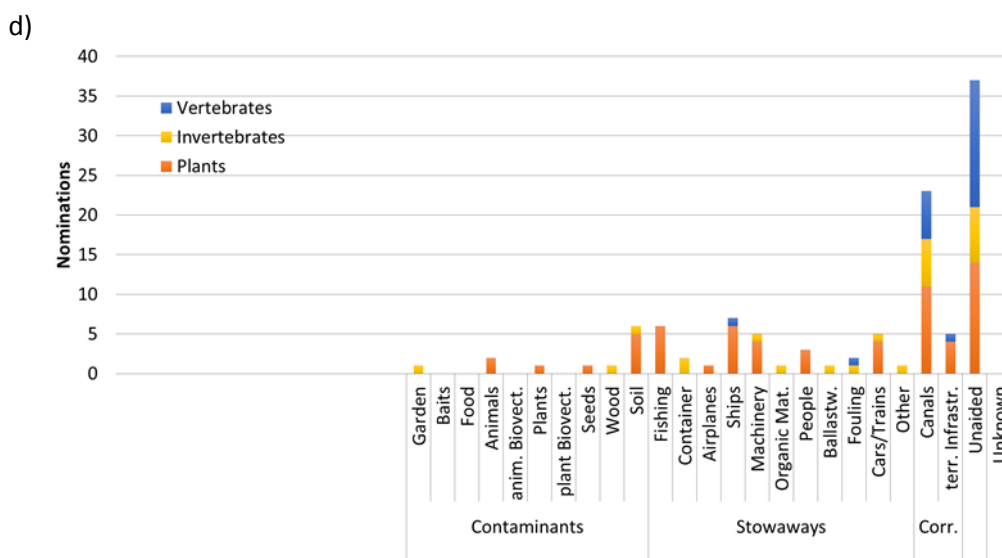
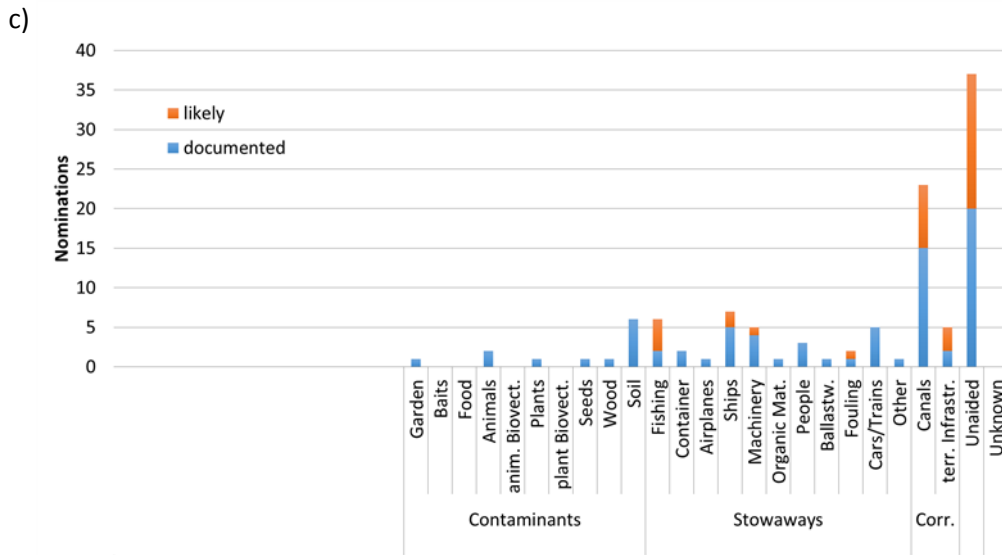


Figure 3: a) relative shares (pie charts) and b) absolute frequencies (bar charts) for pathway categories of unintentional spread for the 37 species on the Union list. [n=111] stands for the total number of pathway nominations for the species during this stage, which is higher than the total species number since some species use more than one pathway. For species not yet occurring in Germany, assumed pathways have been assigned. For absolute frequencies, a distinction is made between c) documented and likely pathways, d) taxonomic groups and e) habitats.

Table 3: Absolute frequencies and relative shares for pathway categories of unintentional introduction, release or escape and spread, shown for the 37 species included on the list of invasive alien species of Union concern (EU-LIST) and the 93 species listed as invasive in Germany (IAS DTLD), and for the sum of the two species lists combined (TOTAL, 130 species).

	EU LIST (37 species)		IAS DTLD (93 species)		TOTAL (130 species)	
	Number of nominations	% at each stage	Number of nominations	% at each stage	Number of nominations	% at each stage
Introduction						
Contamination	13	27.1%	60	40.8%	73	37.4%
Stowaways	18	37.5%	50	34.0%	68	34.9%
Corridor	4	8.3%	13	8.8%	17	8.7%
Unaided	13	27.1%	14	9.5%	27	13.8%
Unknown	0	0.0%	10	6.8%	10	5.1%
<i>Subtotal Introduction</i>	<i>48</i>	<i>100.0%</i>	<i>147</i>	<i>100.0%</i>	<i>195</i>	<i>100.0%</i>
Release or escape						
Escape	66	54.5%	128	49.4%	194	51.0%
Contamination	12	9.9%	52	20.1%	64	16.8%
Stowaways	30	24.8%	61	23.5%	91	23.9%
Unaided	13	10.7%	14	5.4%	27	7.1%
Unknown	0	0.0%	4	1.5%	4	1.0%
<i>Subtotal Release or escape</i>	<i>121</i>	<i>100.0%</i>	<i>259</i>	<i>100.0%</i>	<i>380</i>	<i>100.0%</i>
Spread						
Contamination	12	10.8%	46	16.4%	58	14.8%
Stowaways	34	30.6%	76	27.1%	110	28.1%
Corridor	28	25.2%	64	22.9%	92	23.5%
Unaided	37	33.3%	93	33.2%	130	33.2%
Unknown	0	0.0%	1	0.4%	1	0.3%
<i>Subtotal Spread</i>	<i>111</i>	<i>100.0%</i>	<i>280</i>	<i>100.0%</i>	<i>391</i>	<i>100.0%</i>

When excluding the Union list species with an already wide distribution in Germany (Table 1), it was found for the remaining species (i.e. species with a small-scale distribution, absent, unknown; n=30) that during all of the three invasion stages, the differences in importance were only minor for individual pathways (in comparison with the results above) (Fig. 4-6).

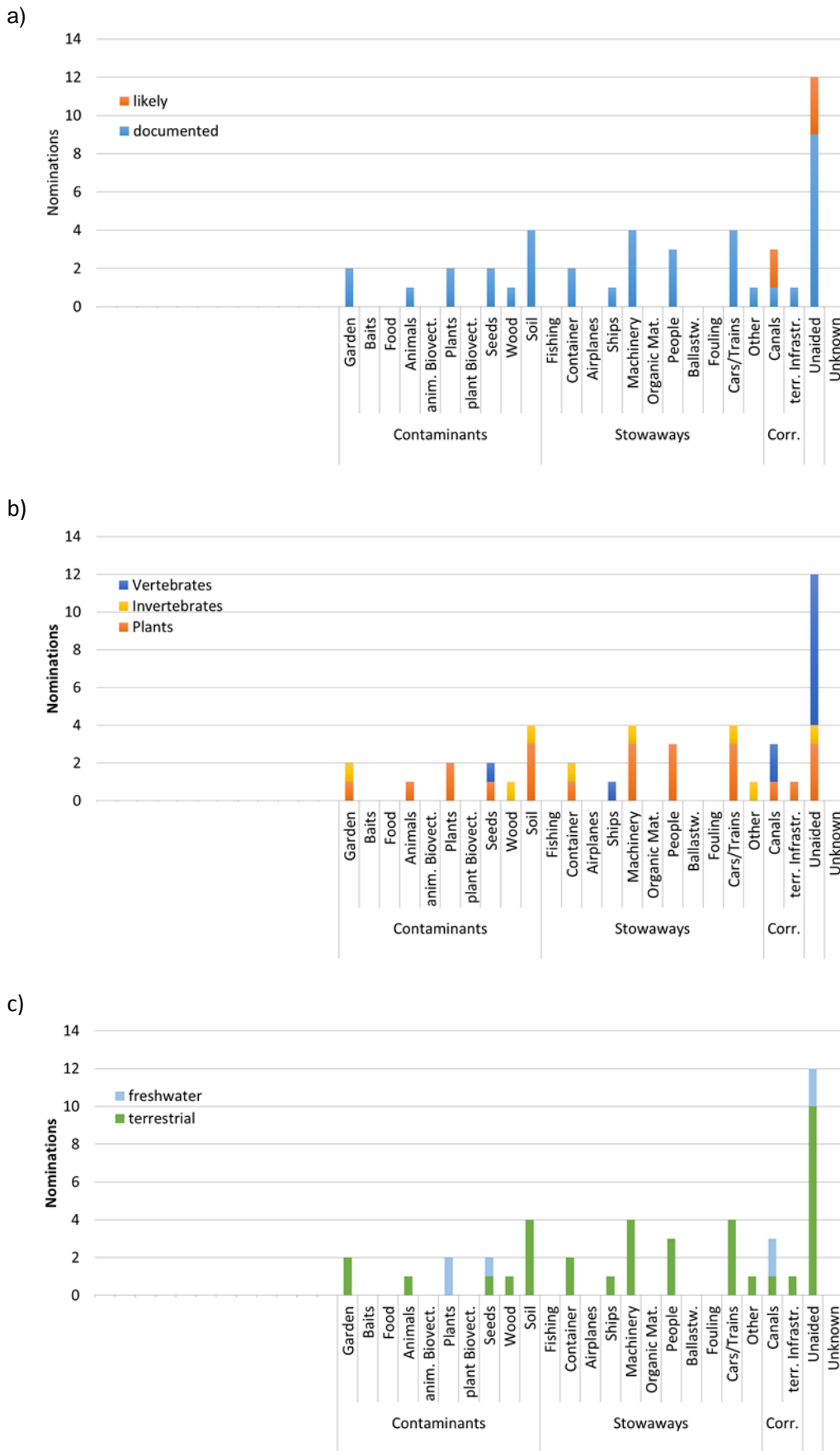


Figure 4: Number of nominations (n=43) for introduction pathways and pathway categories for a) documented and likely pathways, b) taxonomic groups and c) habitats of the 30 species from the Union list with the following distribution data: small scale distribution, absent or unknown.

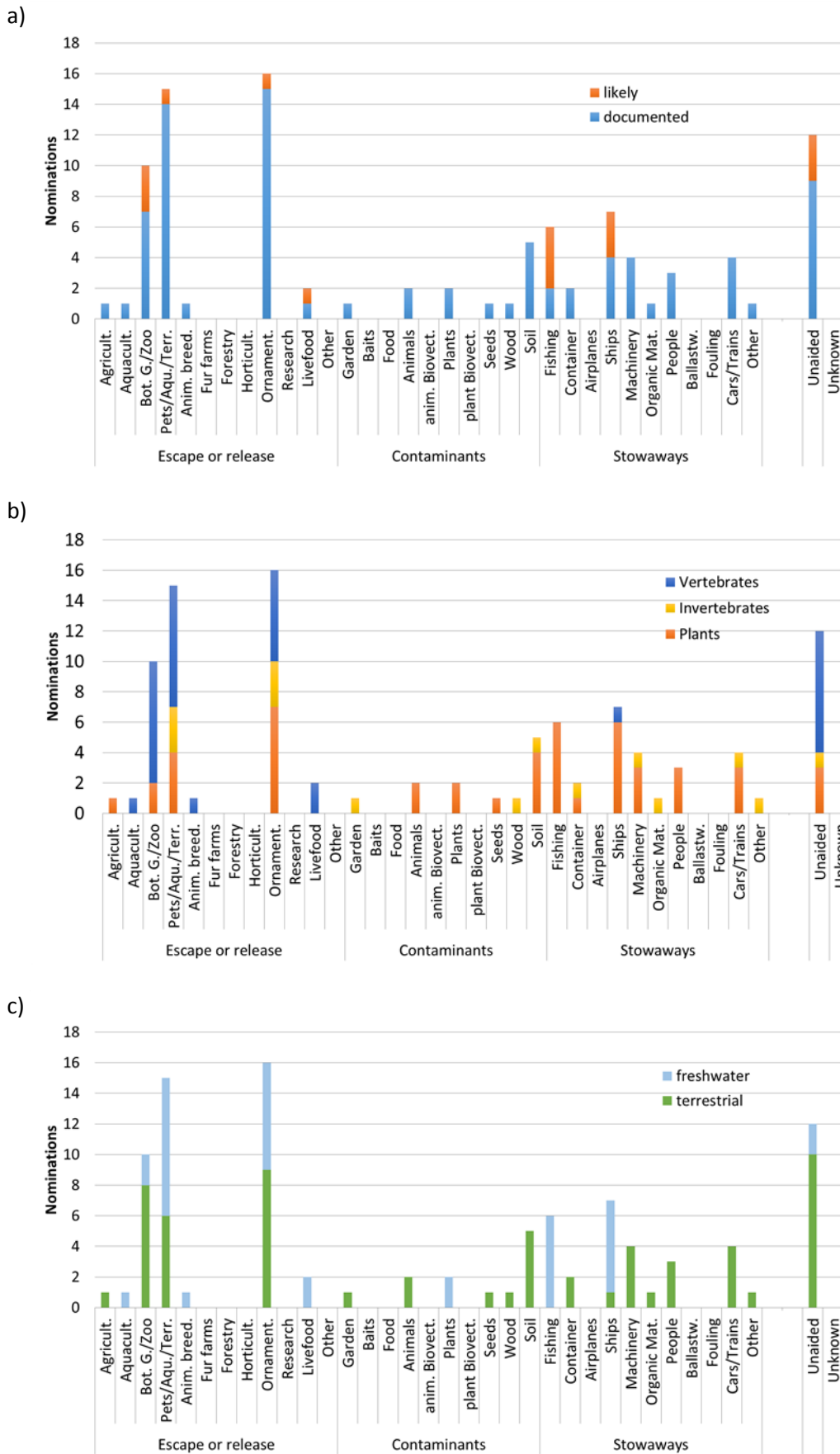


Figure 5: Number of nominations (n=98) for release or escape pathways and pathway categories for a) documented and likely pathways, b) taxonomic groups and c) habitats of the 30 species from the Union list with the following distribution data: small scale distribution, absent or unknown.

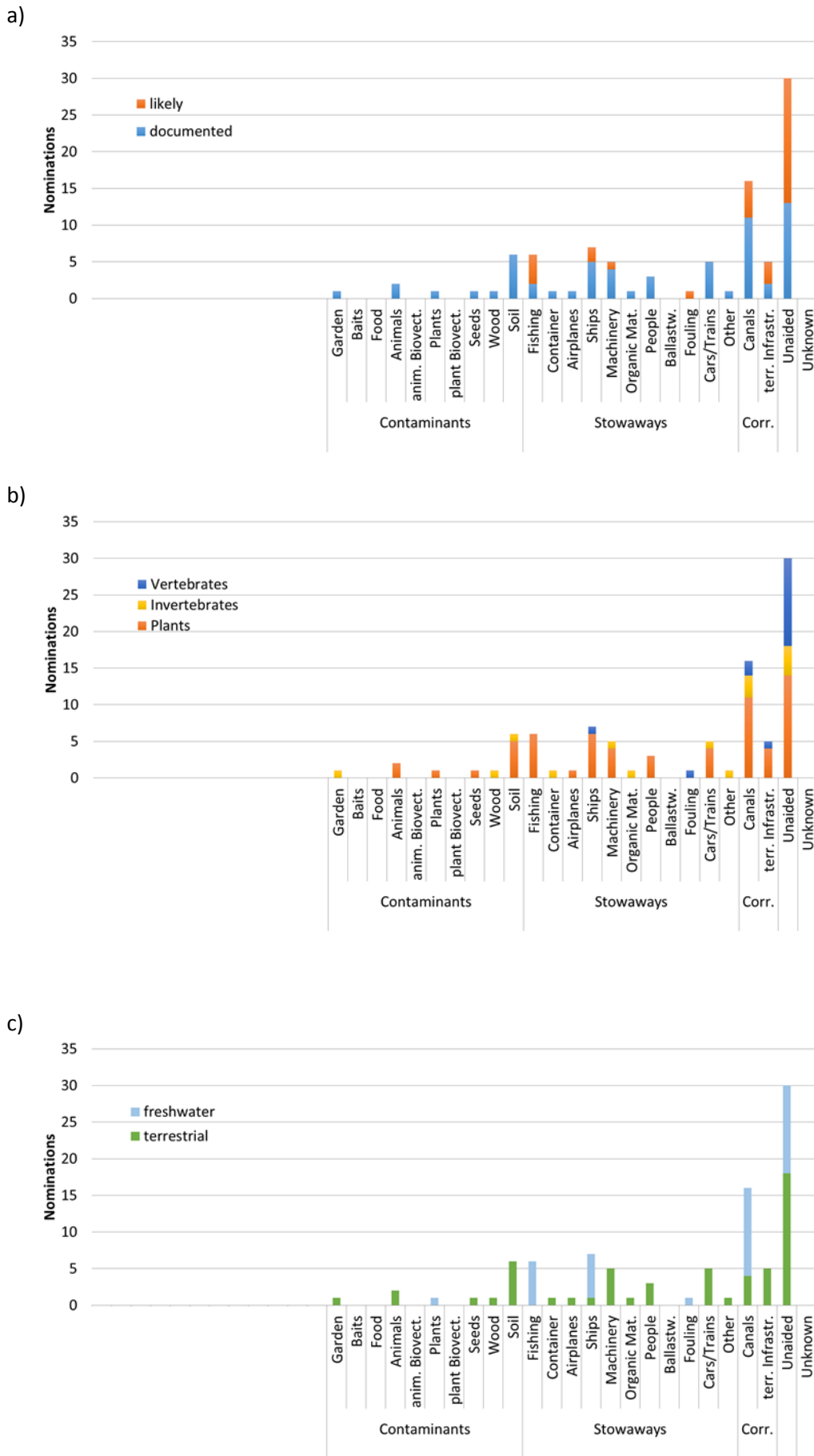


Figure 6: Number of nominations (n=94) for spread pathways and pathway categories for a) documented and likely pathways, b) taxonomic groups and c) habitats of the 30 species from the Union list with the following distribution data: small scale distribution, absent or unknown.

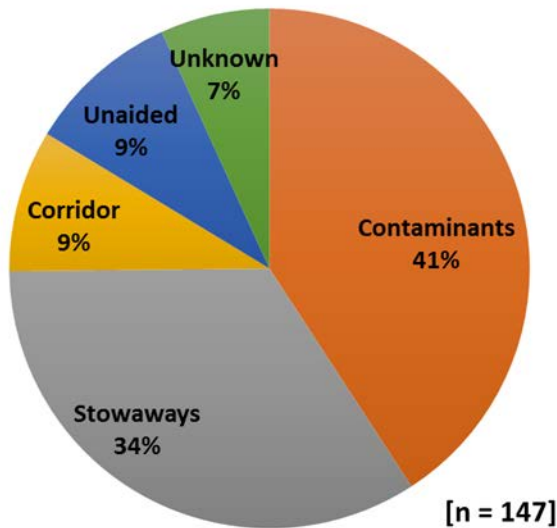
3.2 Pathway categories and pathways for the 93 species listed as invasive in Germany

The pathway analysis of this group revealed similar results as for the 37 species of the Union list, but in addition revealed high relevance for “ballast water” and “material from garden centres and tree nurseries”. Again, differences appear if invasion stages are considered separately.

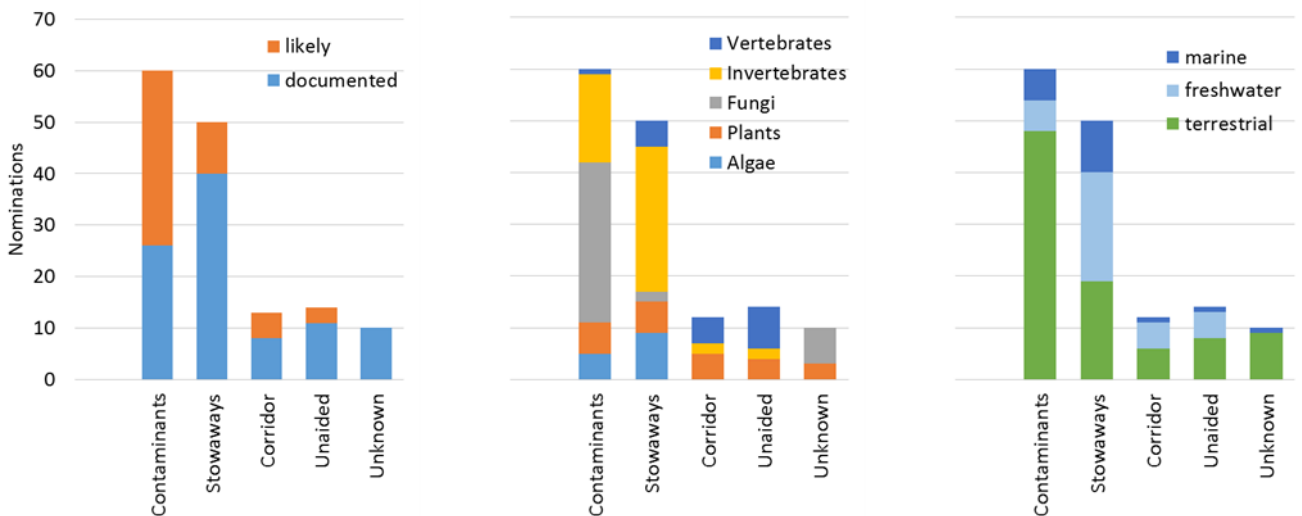
Introduction: The dominating pathway categories are “contamination” (41%; “material from garden centres and tree nurseries”, “plant bio-vectors”; with a comparatively large share of “likely” nominations, mainly fungi) and “stowaways” (34%; “ballast water”, “growth/accumulation on the body of ships”; mainly invertebrates) (Fig. 7a-c, Table 3). 14 species (10%) reached Germany without human help from directly adjacent areas to which they are not native, and for 10 species (7%) the pathway of introduction is not known (Fig. 7).

a)

Unintentional introduction (IAS DTL: 93 species)



b)



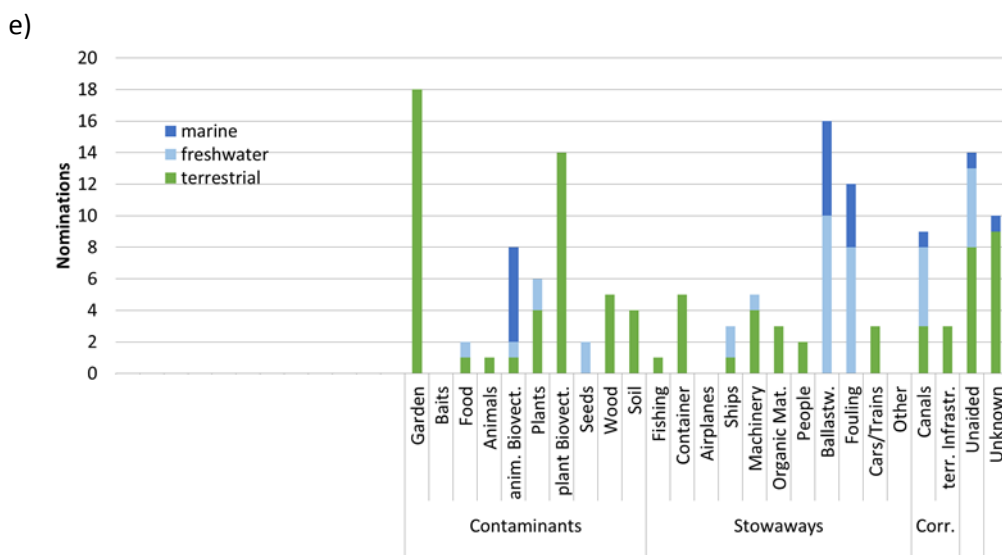
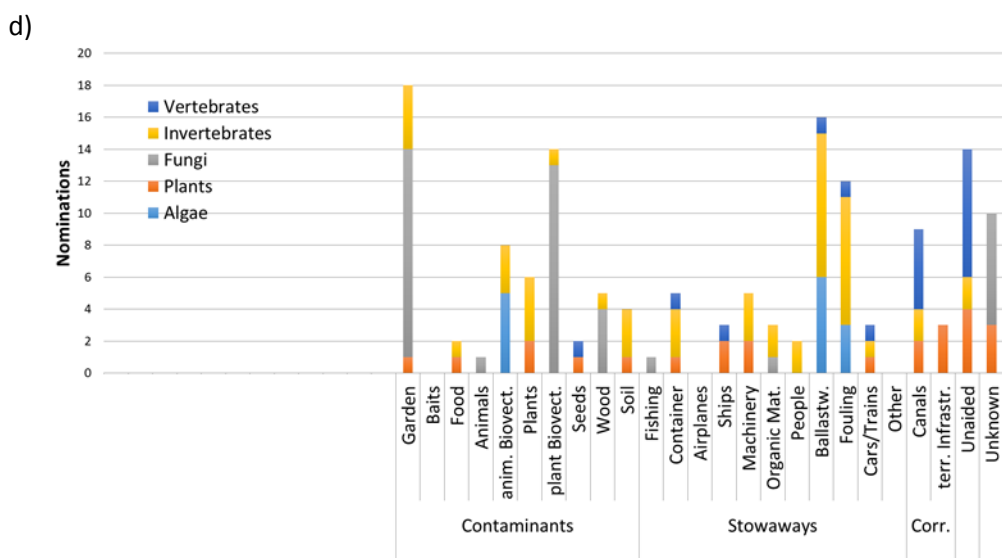
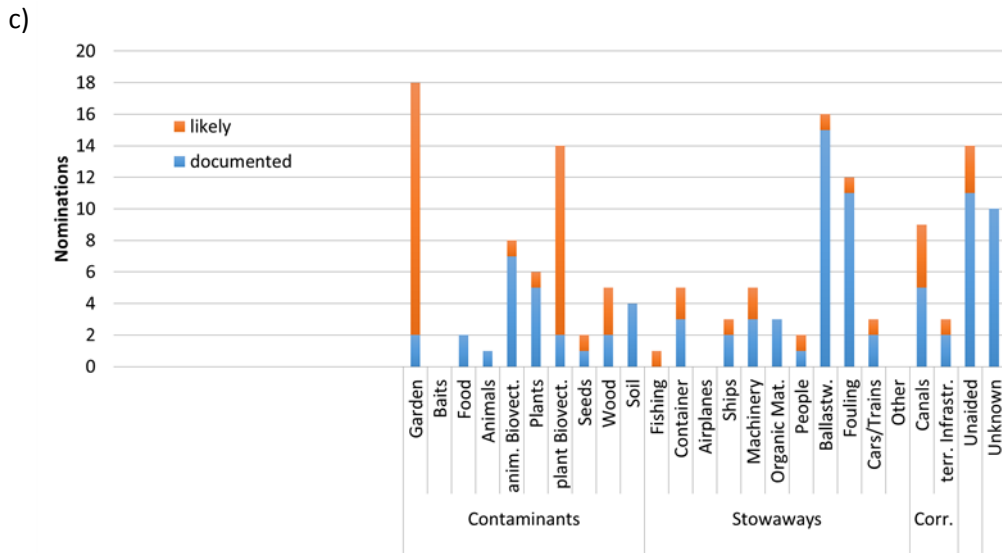
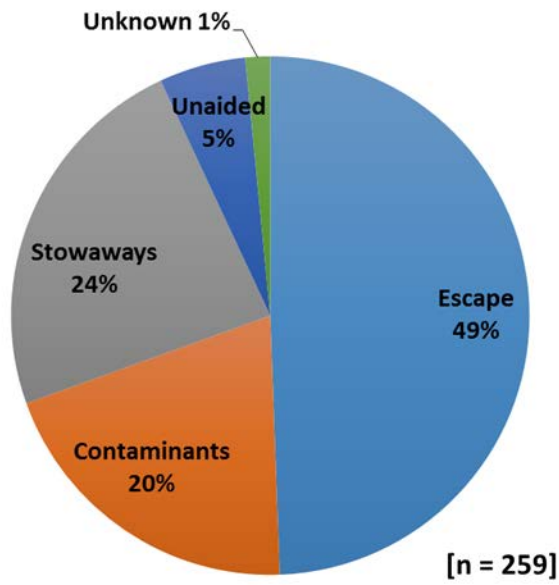


Figure 7: a) relative shares (pie charts) and b) absolute frequencies (bar charts) for pathway categories of unintentional introduction for 93 species listed as invasive in Germany. [n=147] stands for the total number of pathway nominations for the species during this stage, which is higher than the total species number since some species use more than one pathway. For species not yet occurring in Germany, assumed pathways have been assigned. For absolute frequencies, a distinction is made between c) documented and likely pathways, d) taxonomic groups and e) habitats.

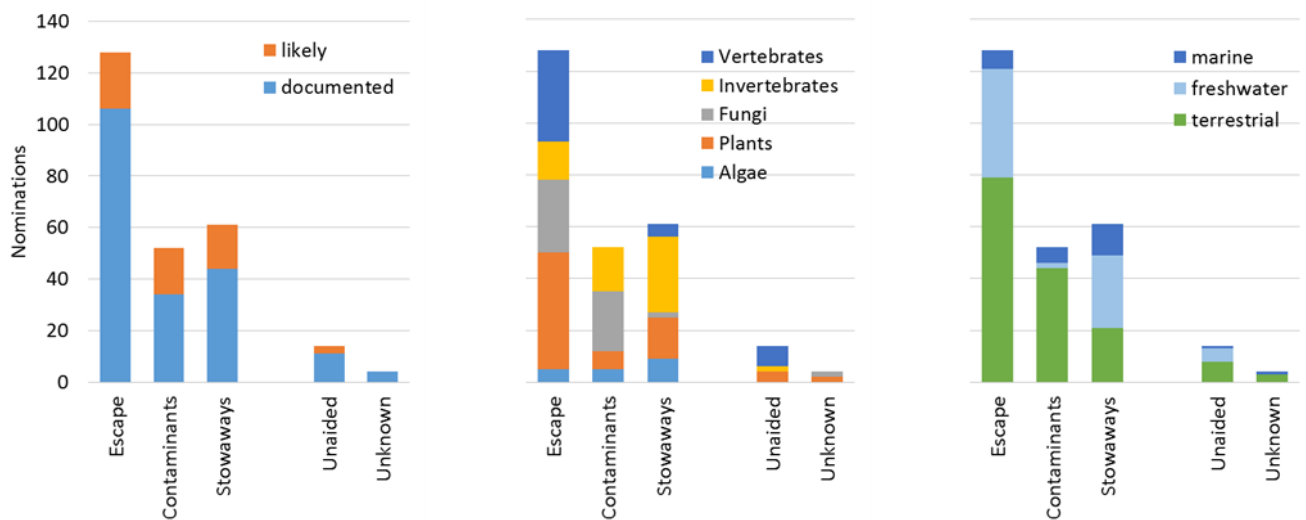
Release or escape: The pathway category “escape from cultivation or holding” dominates at 49%, and within this category “ornamental species (animals and plants)” is the most important pathway (Fig. 8a, 8c, Tab. 3). Here terrestrial plants are most important (Fig. 8d). Next in importance are pathways of the categories “stowaways” (24%, e.g. “ballast water” and “growth/accumulation on the body of ships”, in particular marine and freshwater invertebrates and algae; Fig. 8a, 8d, 8e) and “contamination” (20%) (Fig. 8a, 8b, 8c, Tab. 3).

a)

Unintentional release or escape (IAS DTL: 93 species)



b)



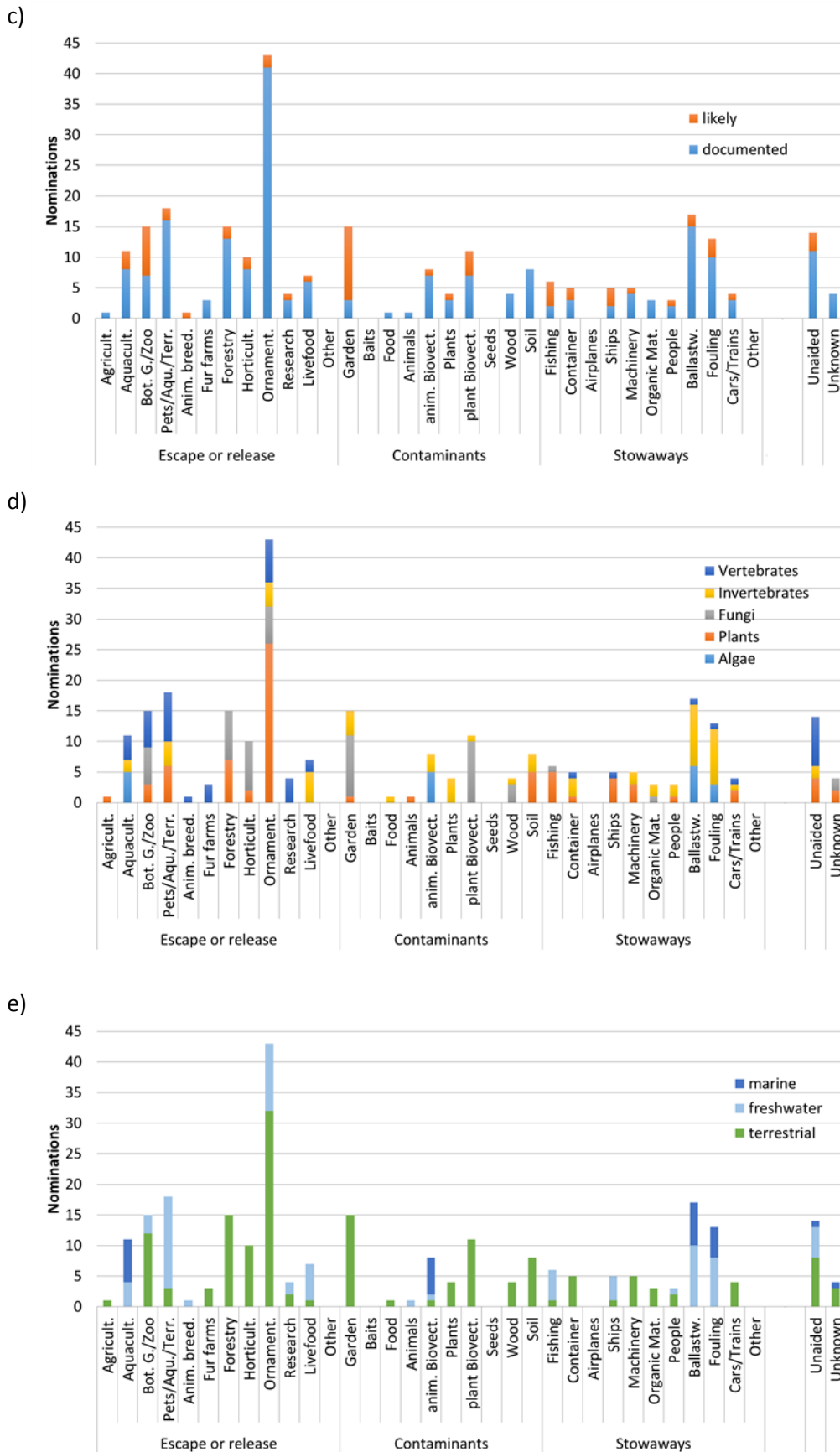
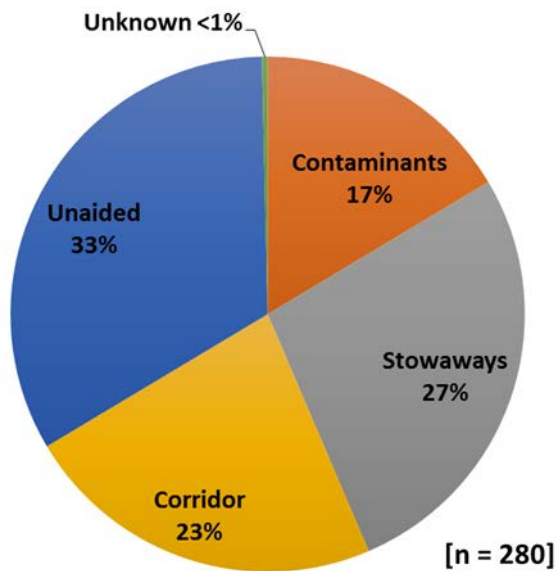


Figure 8: a) relative shares (pie charts) and b) absolute frequencies (bar charts) for pathway categories of unintentional release or escape for 93 species listed as invasive in Germany s. [n=259] stands for the total number of pathway nominations for the species during this stage, which is higher than the total species number since some species use more than one pathway. For species not yet occurring in Germany, assumed pathways have been assigned. For absolute frequencies, a distinction is made between c) documented and likely pathways, d) taxonomic groups and e) habitats.

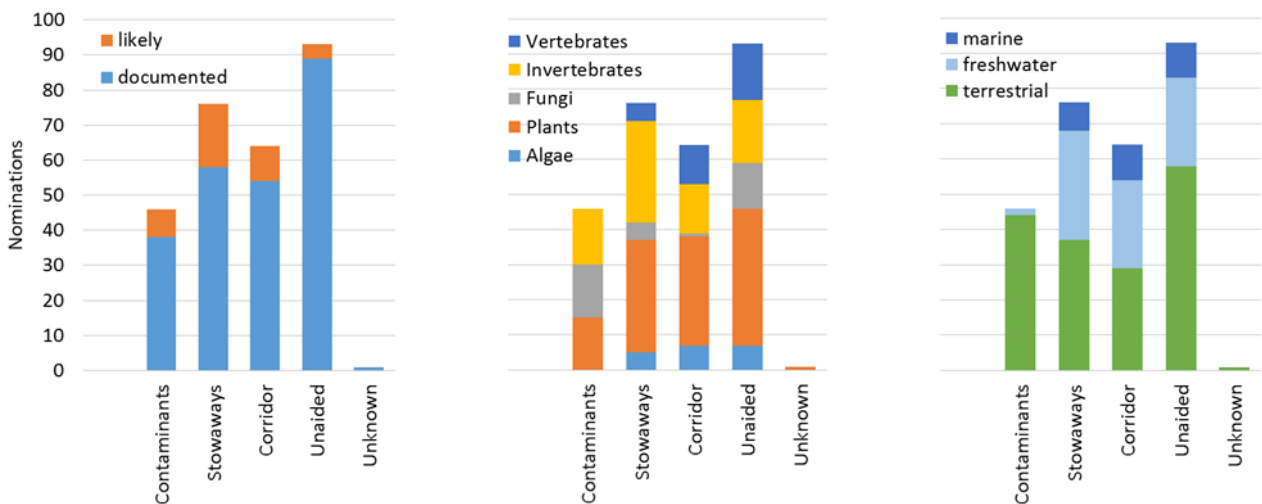
Spread: Pathways of unassisted spread are most important (without human help, 33%; corridor, 23%, mainly canals and waterways; Fig. 9a, 9b, Tab. 3), with a comparatively high share of aquatic species (Fig. 9b). The pathway categories “stowaways” (27%, e.g. “ballast water” and “growth / accumulation on the body of ships”; about half of them aquatic species) and “contamination” (17%, almost exclusively terrestrial species, Fig. 9) are also important.

a)

Unintentional spread (IAS DTL: 93 species)



b)



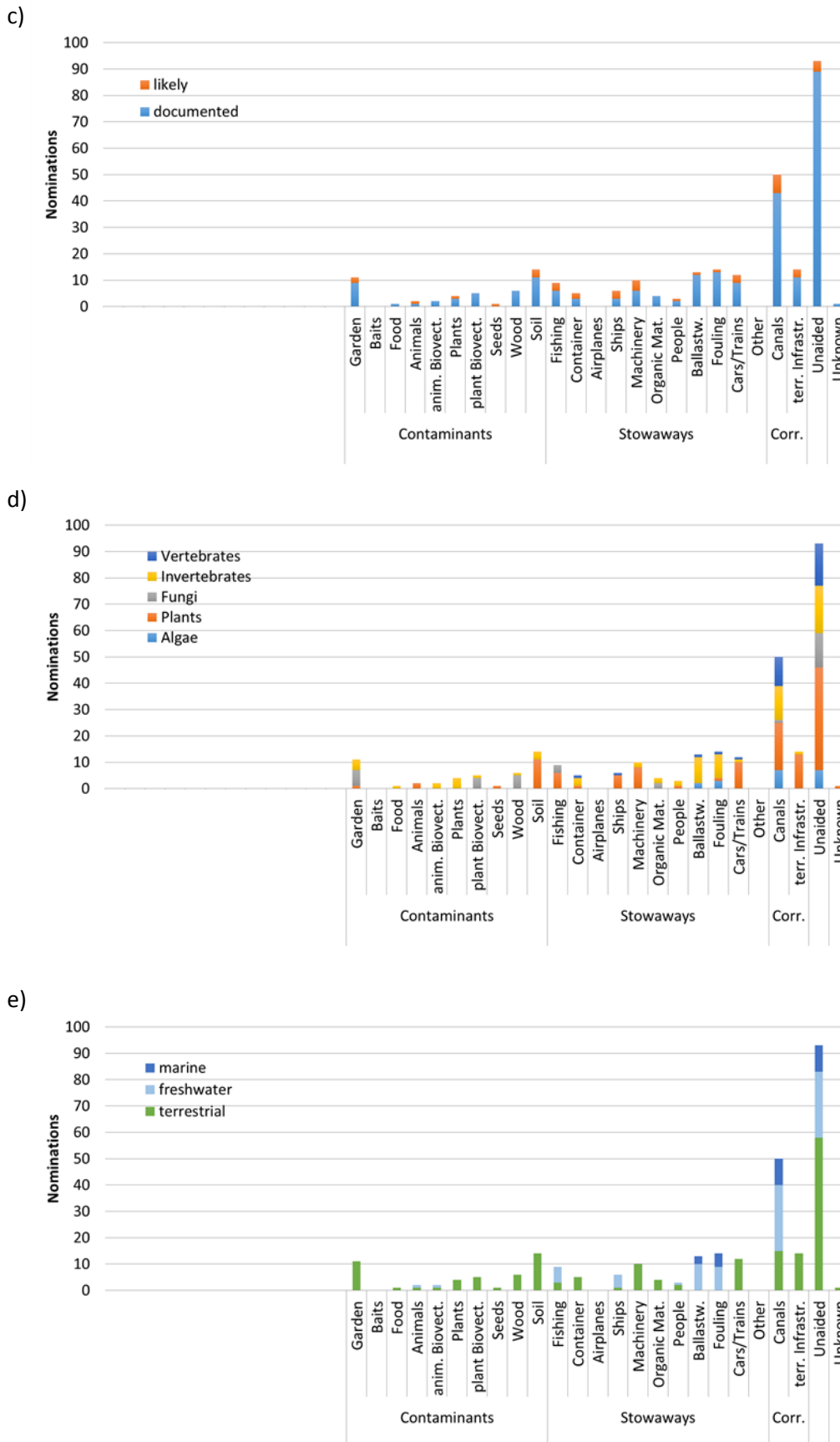


Figure 9: a) relative shares (pie charts) and b) absolute frequencies (bar charts) for pathway categories of unintentional spread for 93 species listed as invasive in Germany. [$n=280$] stands for the total number of pathway nominations for the species during this stage, which is higher than the total species number since some species use more than one pathway. For species not yet occurring in Germany, assumed pathways have been assigned. For absolute frequencies, a distinction is made between c) documented and likely pathways, d) taxonomic groups and e) habitats.

A comparison of the data shows that there are only minor differences between the release or escape and spread pathways of the Union list species and the species listed as invasive in Germany. For the introduction pathways, the share of the category “contamination” is slightly higher for the invasive species, and there is a higher share of “likely” and “unknown” pathways.

When excluding the invasive species with an already wide distribution in Germany, it was found for the remaining species (i.e. species with a small-scale distribution, absent, unknown; n=28) – like for the Union list species (see above) – that during all of the three invasion stages, the differences in importance were only minor for individual pathways (in comparison with the events described above).

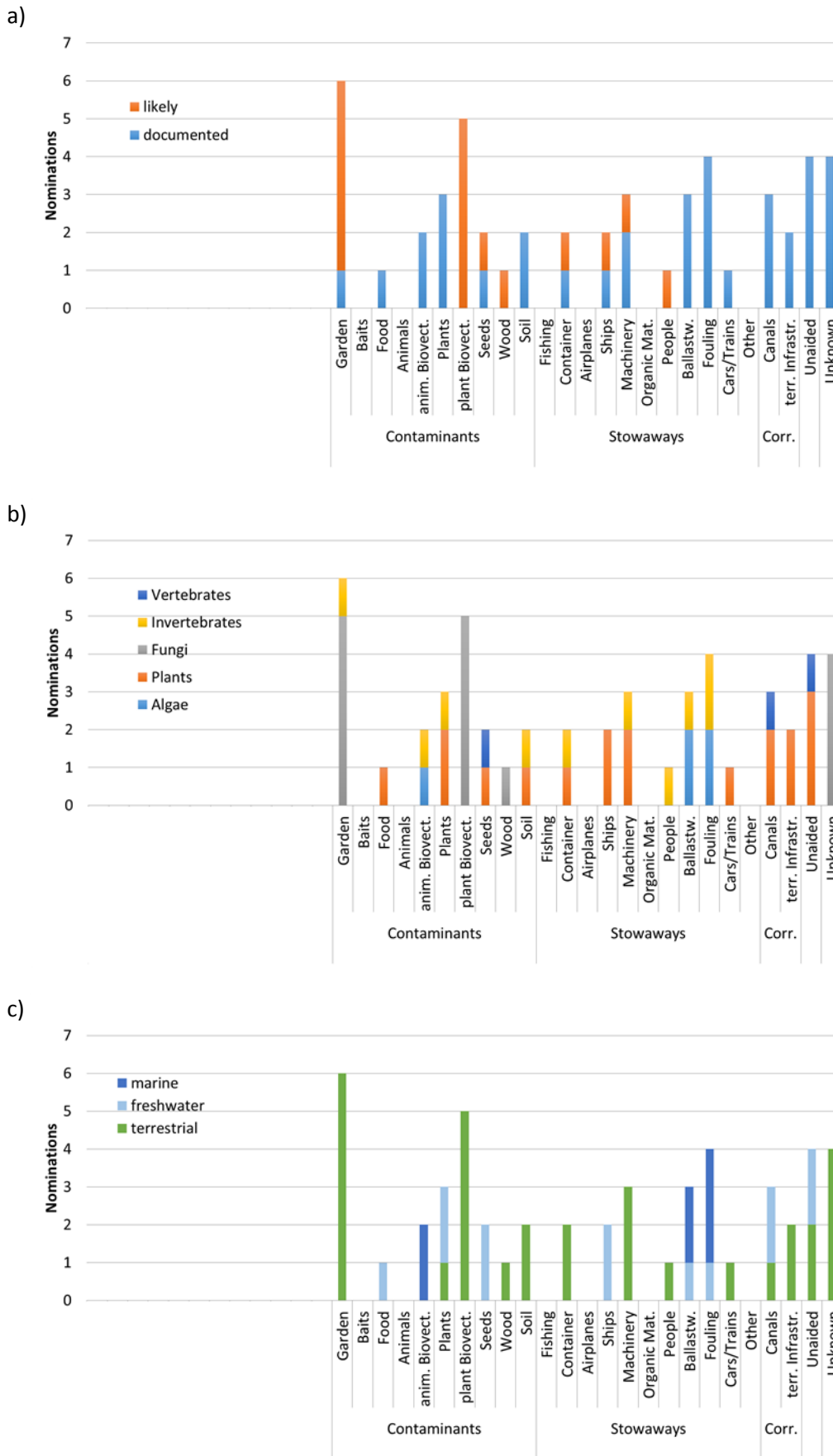


Figure 10: Number of nominations ($n=51$) for introduction pathways and pathway categories for a) documented and likely pathways, b) taxonomic groups and c) habitats of the 28 species listed as invasive in Germany with the following distribution data: small scale distribution, absent or unknown.

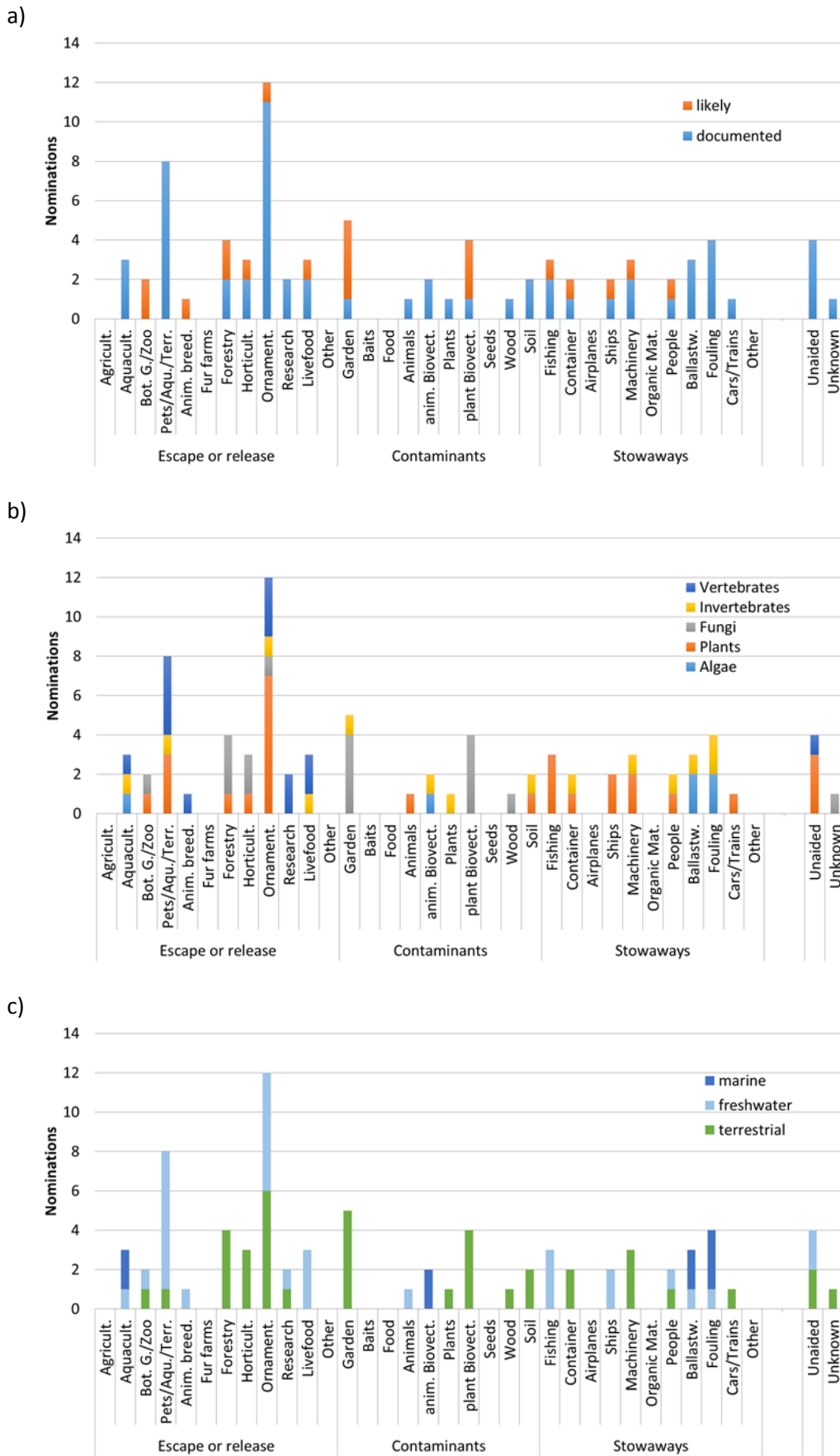


Figure 11: Number of nominations ($n=79$) for release or escape pathways and pathway categories for a) documented and likely pathways, b) taxonomic groups and c) habitats of the 28 species listed as invasive in Germany with the following distribution data: small scale distribution, absent or unknown.

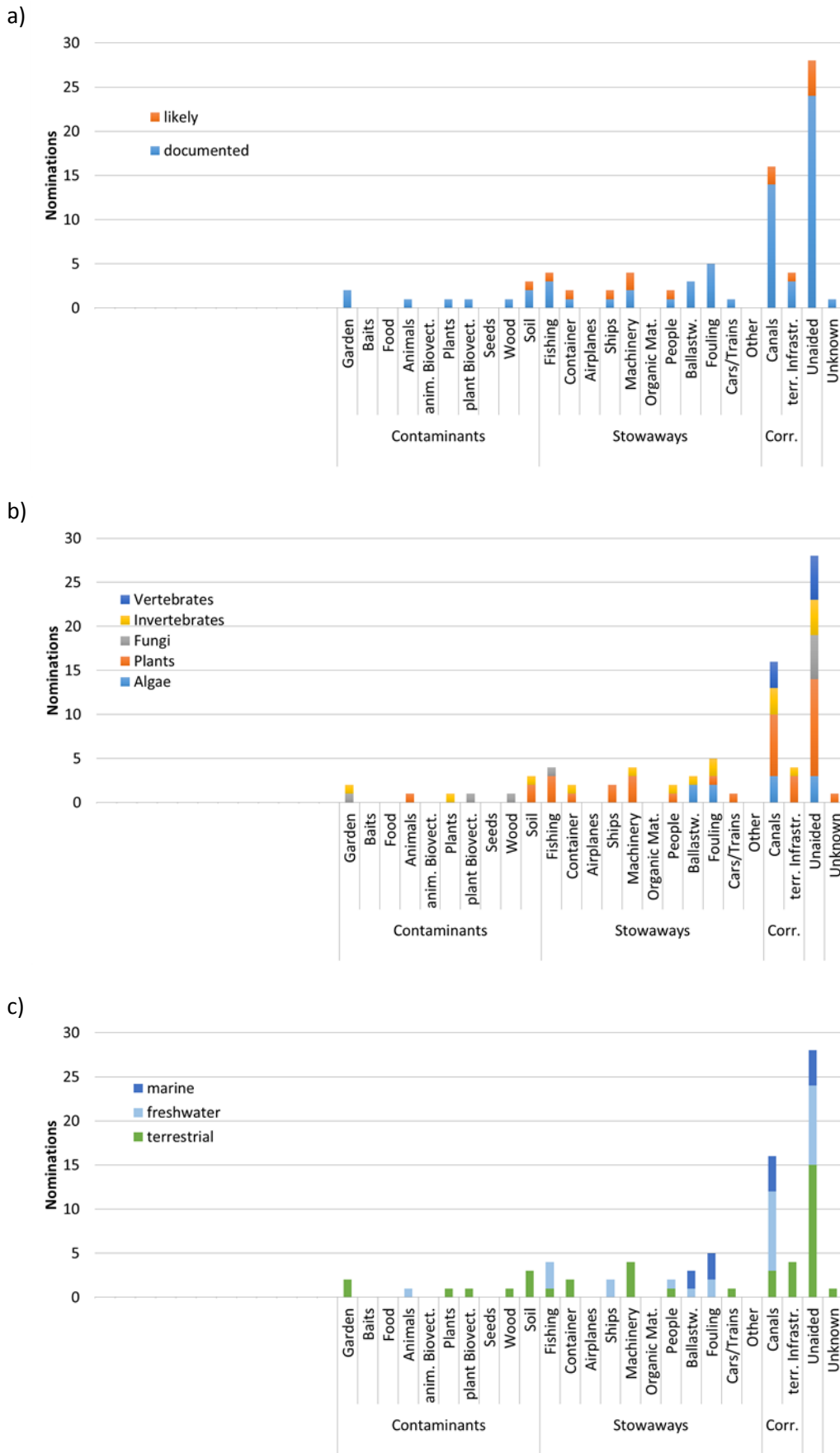


Figure 12: Number of nominations ($n=81$) for spread pathways and pathway categories for a) documented and likely pathways, b) taxonomic groups and c) habitats of the 28 species listed as invasive in Germany with the following distribution data: small scale distribution, absent or unknown.

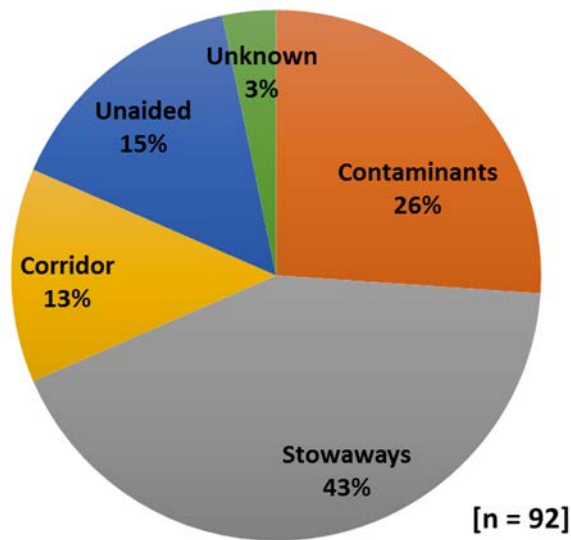
3.3 Pathway categories for species listed as invasive in Germany without algae and fungi (73 species)

As expected, an analysis of the pathways of Germany’s invasive species without algae and fungi (n=73) showed a lower importance of introduction pathways otherwise dominated by fungi (“material from garden centres and tree nurseries” and “in or on plant bio-vectors”), while the results for the release or escape and spread pathways did not differ much from the other analyses (Fig. 13-15).

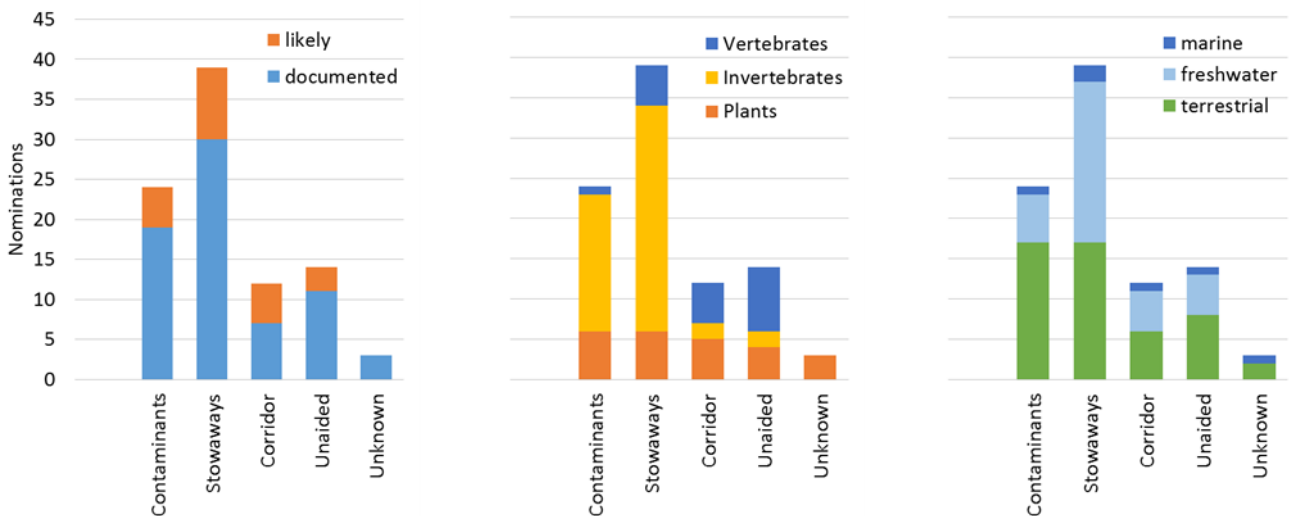
As for the Union list species, the importance of “contamination” during the release or escape and spread stages is considerably lower than during the introduction stage, while the importance of “corridors” increases. In both groups the pathways of the category “escape from cultivation or holding” dominate in the spread of the species.

a)

Unintentional introduction (IAS DTLD: 73 species)



b)



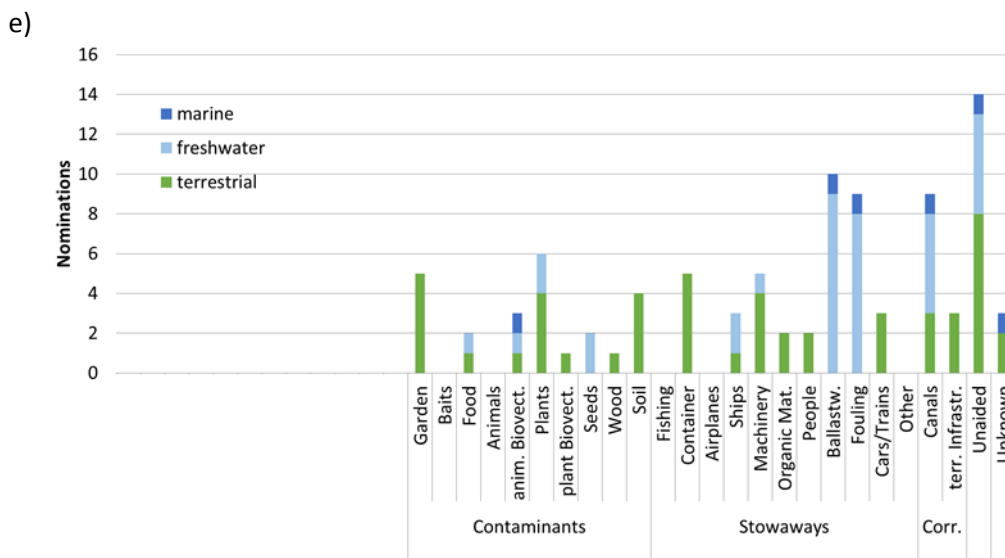
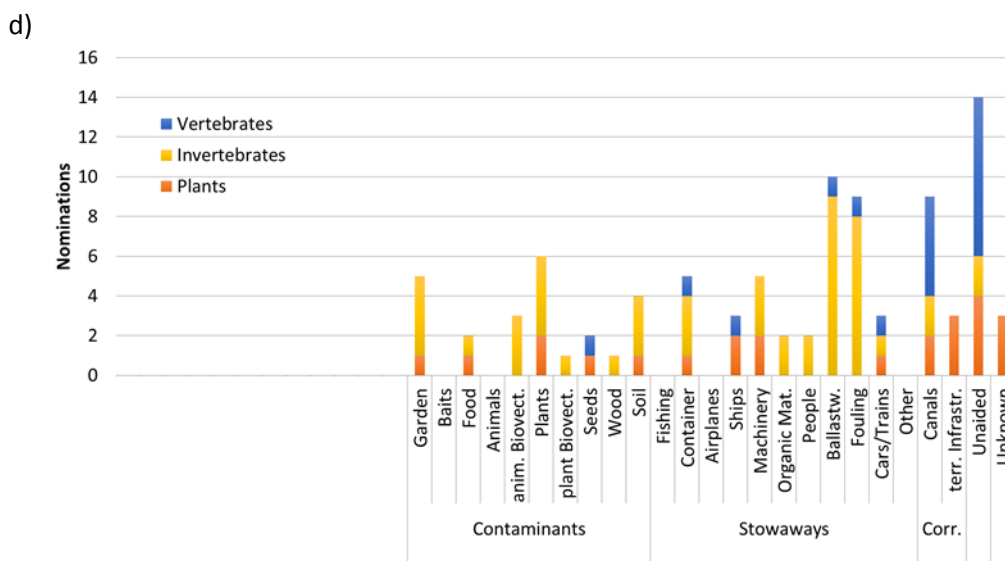
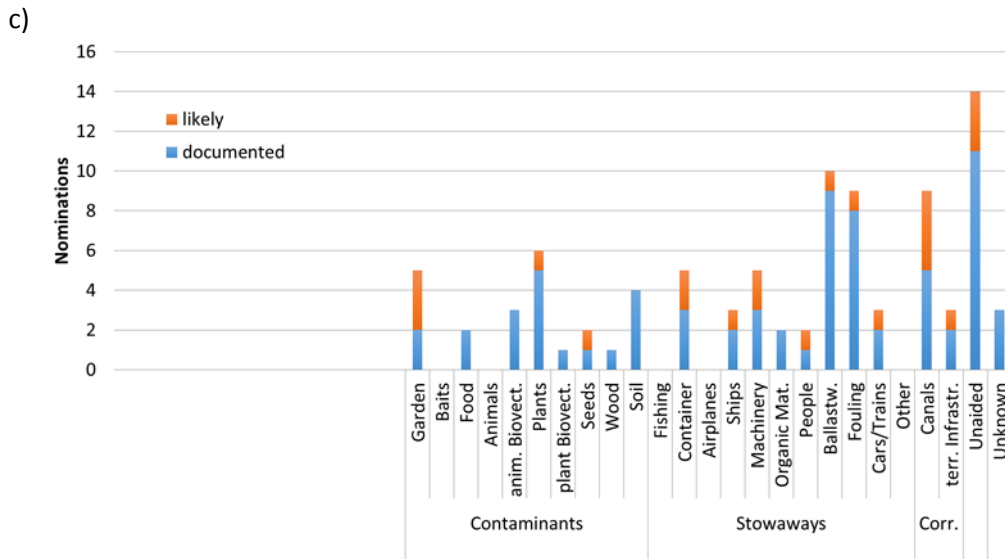
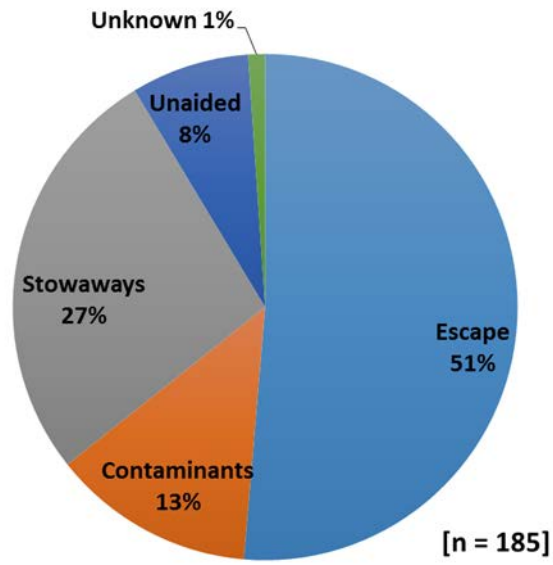


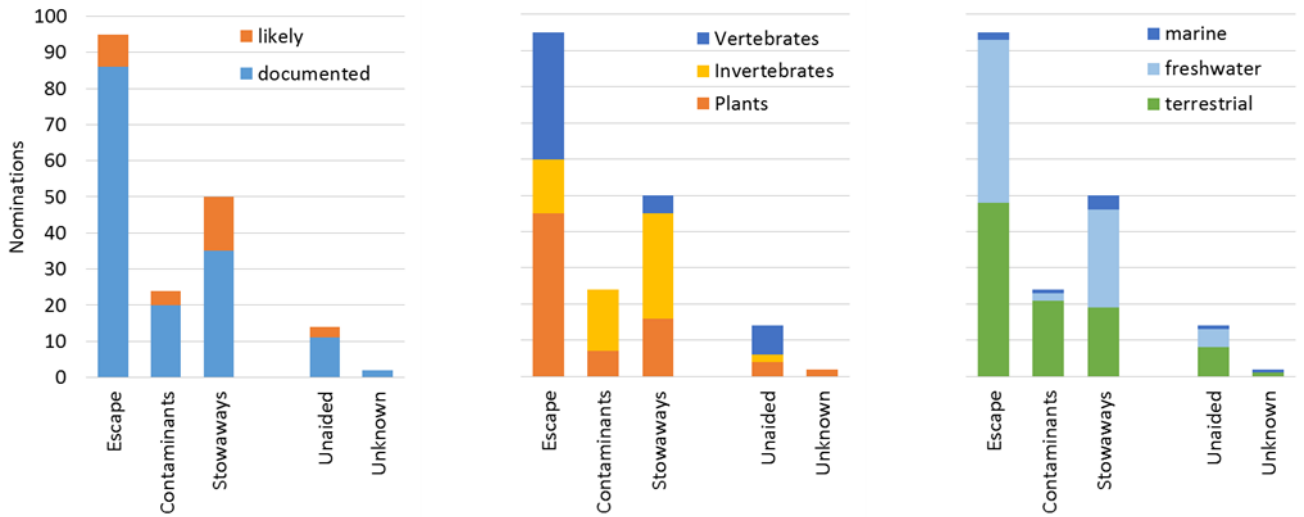
Figure 13: a) relative shares (pie charts) and b) absolute frequencies (bar charts) for pathway categories of unintentional introduction for the 73 species listed as invasive in Germany (without algae and fungi). [n=92] stands for the total number of pathway nominations for the species during this stage, which is higher than the total species number since some species use more than one pathway. For species not yet occurring in Germany, assumed pathways have been assigned. For absolute frequencies, a distinction is made between c) documented and likely pathways, d) taxonomic groups and e) habitats.

a)

Unintentional escape or release (IAS DTLD: 73 species)



b)



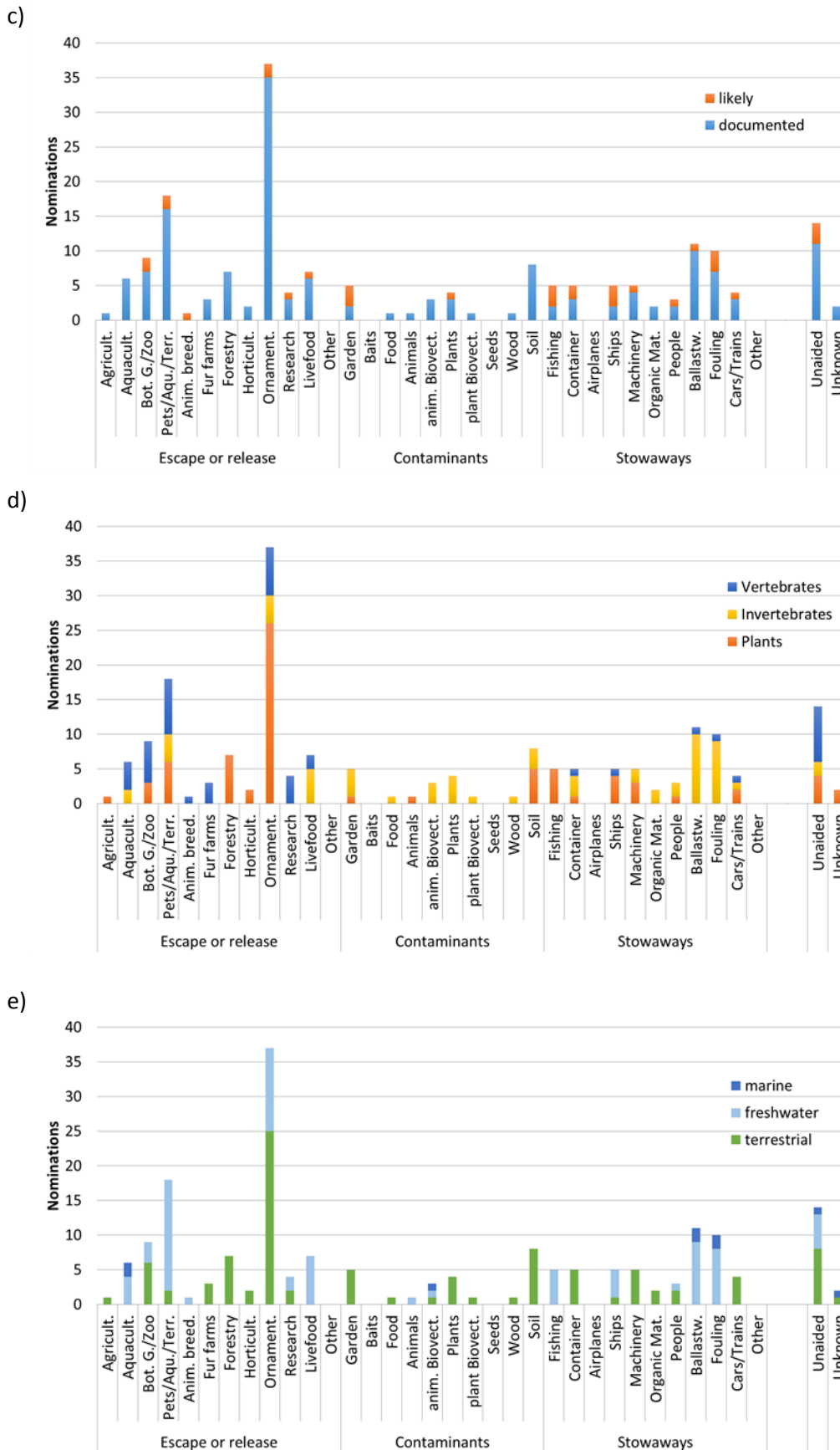
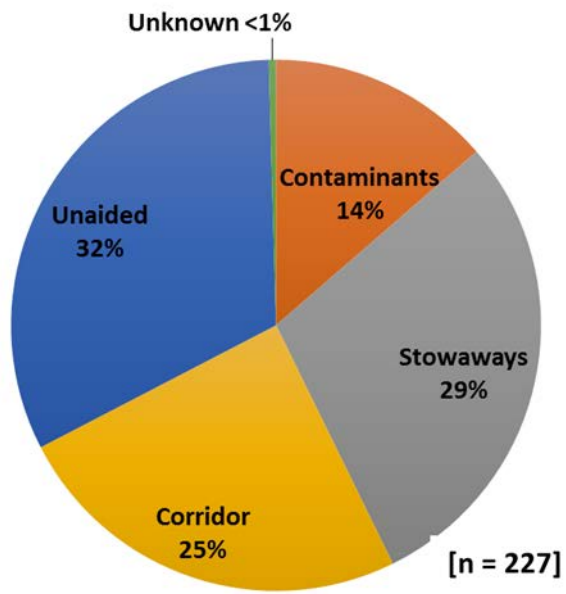


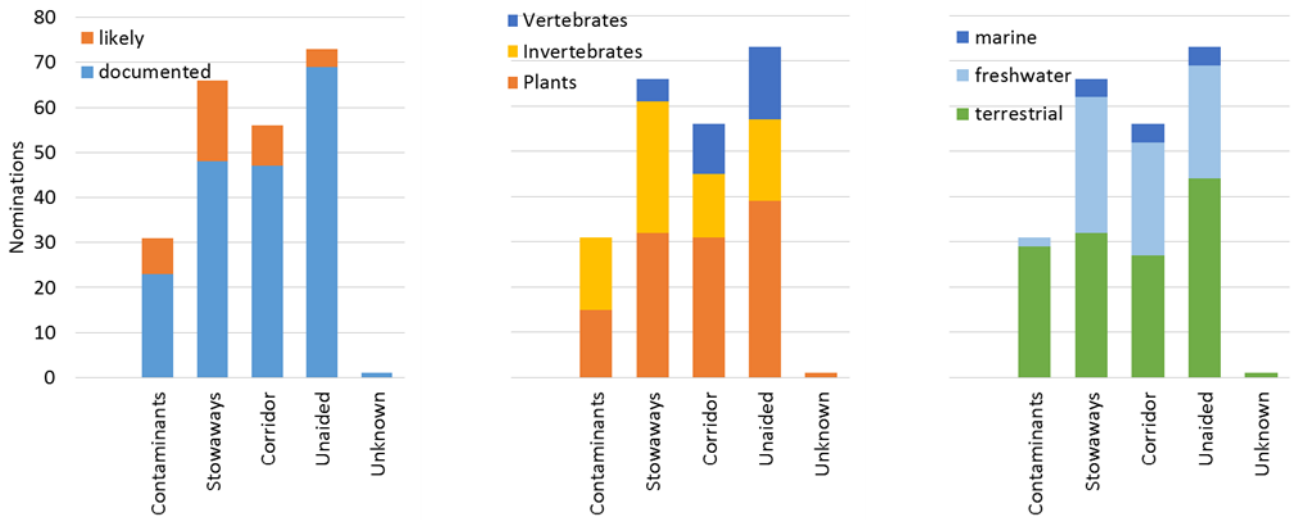
Figure 14: a) relative shares (pie charts) and b) absolute frequencies (bar charts) for pathway categories of unintentional release or escape for the 73 species listed as invasive in Germany (without algae and fungi). [n=185] stands for the total number of pathway nominations for the species during this stage, which is higher than the total species number since some species use more than one pathway. For species not yet occurring in Germany, assumed pathways have been assigned. For absolute frequencies, a distinction is made between c) documented and likely pathways, d) taxonomic groups and e) habitats.

a)

Unintentional spread (IAS DTL: 73 species)



b)



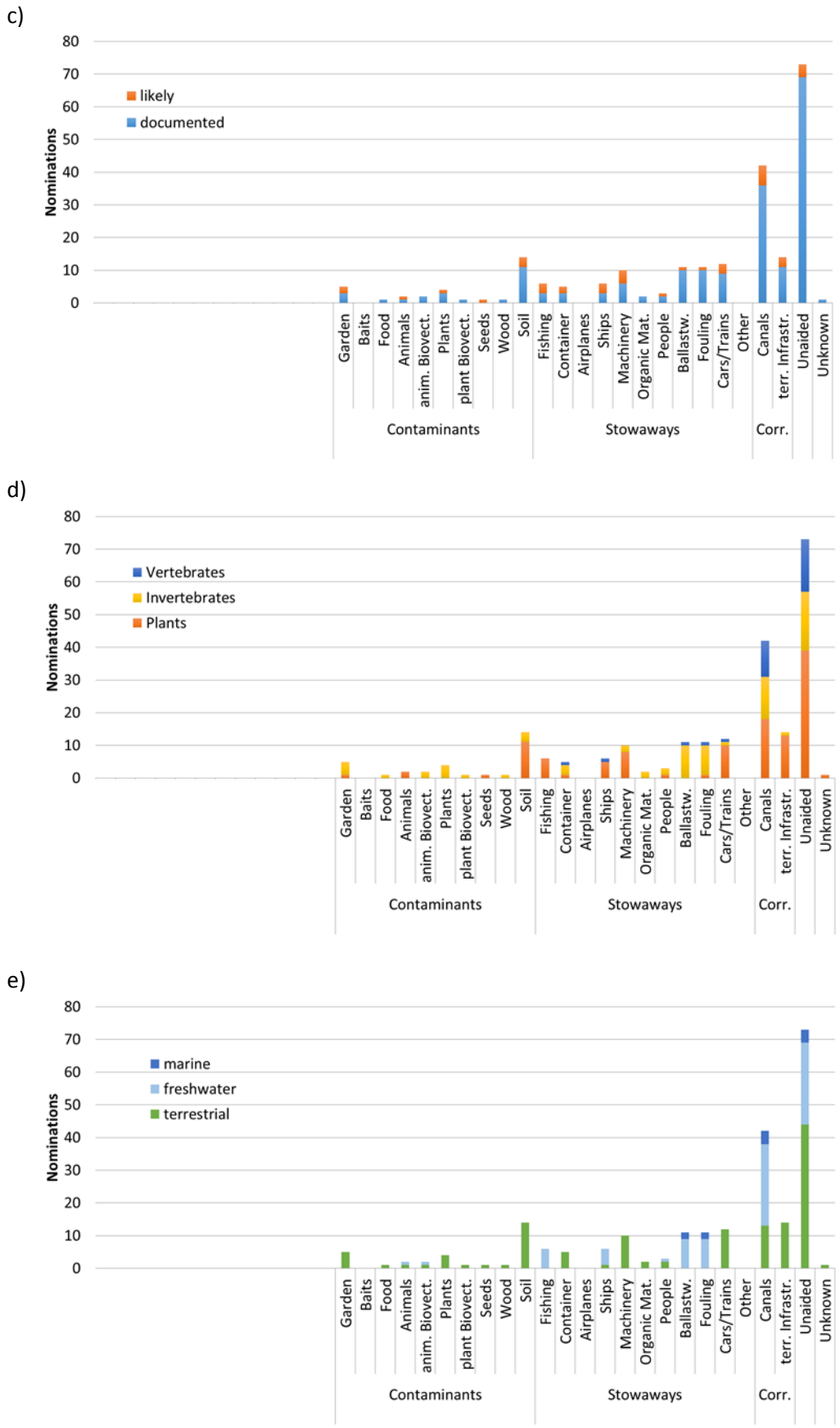


Figure 15: a) relative shares (pie charts) and b) absolute frequencies (bar charts) for pathway categories of unintentional spread for the 73 species listed as invasive in Germany (without algae and fungi). [n=227] stands for the total number of pathway nominations for the species during this stage, which is higher than the total species number since some species use more than one pathway. For species not yet occurring in Germany, assumed pathways have been assigned. For absolute frequencies, a distinction is made between c) documented and likely pathways, d) taxonomic groups and e) habitats.

3.4 Priority pathways

The action plans required by Article 13 para 2 of the EU Regulation should not address the stages introduction, release or escape and spread, but single pathways or groups of pathways. In order to prioritise the pathways, pathway nominations were summed up across all three stages, which mean that for one species a pathway can be represented up to three times in the total. This applies to the pathways of those categories which are represented at each of the three stages, i.e. “contamination of transported goods”, “stowaways” and “unaided”. In the category “escape from cultivation or holding” only release or escape pathways are represented through which organisms escape unintentionally from confinement or contained holdings. By contrast, the category “unassisted (corridor)” includes only introduction and spread pathways, since introduction here has the same meaning as “escape or release” into the natural environment.

The pathway with by far the most nominations, “unaided (unsupported by humans)”, describes the introduction (or rather unassisted movement, at the same time release or escape) of alien species from neighbouring countries where they are also non-native and their spread (after having become established) in Germany (63 nominations for the Union list and 121 nominations for the list of invasive species) (Fig. 16).

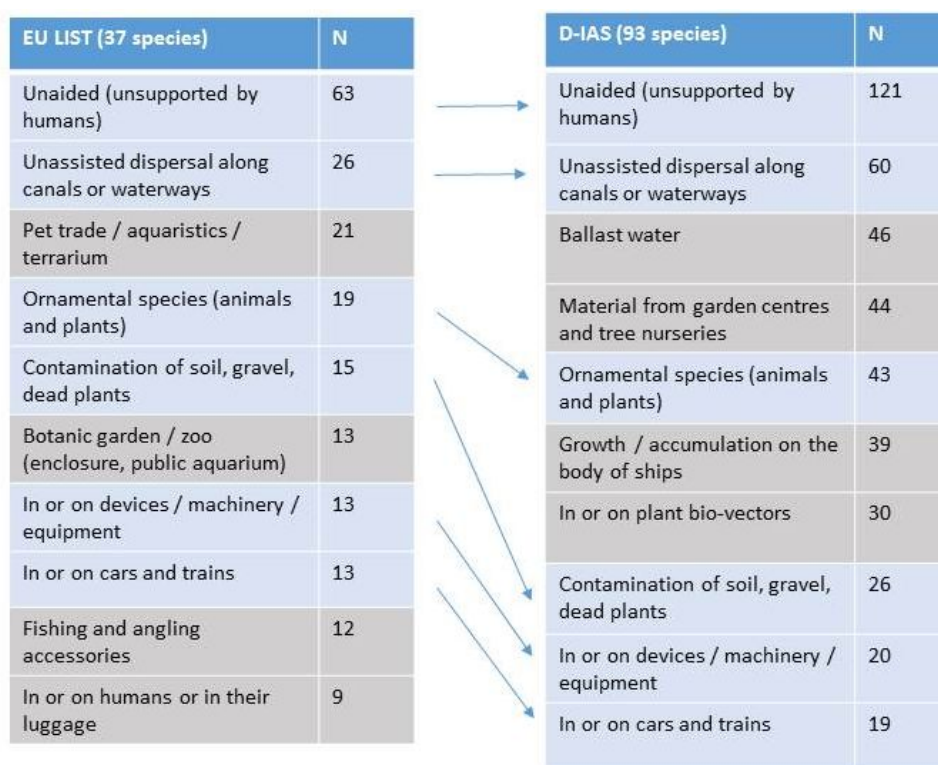


Figure 16: Prioritisation of unintentional pathways for introduction, release or escape, and spread based on the number of nominations (N) of documented and likely uses, for the 37 species on the Union list (left) and the 93 species listed as invasive in Germany (right). For each group the top ten priority pathways are shown. Arrows visualize differences and similarities between the two groups in the order of priority paths. Paths that only occur in one of the two groups are highlighted in gray.

According to the EU Regulation, the prioritisation of pathways should be based on the species of the Union list. A comparison of data shows different prioritisations for those species and for Germany’s other 93 invasive species (Fig. 16). For the latter, the relative importance of the pathway “pet trade” is lower, whereas it is higher for the pathways “ballast water”, “material from garden centres and tree

nurseries” and “growth/accumulation on the body of ships”. There is consistency as regards the most important pathway (“Unaided (unsupported by humans)” and “Unassisted dispersal along canals or waterways between river basins / seas”, 26 and 60 nominations); and “ornamental species (plants and animals)” (19 and 43 nominations) and “contamination of soil, gravel, dead plants” (15 and 26 nominations) are top priority pathways in both groups as well.

In the following, a brief overview is given about the general importance of the top ten priority pathways for the 130 analysed species.

Unassisted movement along canals or waterways

The German inland waterways network is around 7,300 kilometres long (excluding the maritime shipping routes along the coast), of which about 75% are rivers and 25% canals (Fig. 17). It is used as transport infrastructure for international trade in goods (around 4,800 km) and, to a lesser extent, for recreational purposes and tourism. Other structures such as locks and weirs, canal bridges and ports are also relevant in the use of waterways. By establishing the inland waterways network, neighbouring river basins which were originally separate have been connected. The European waterways network has created navigable waterways between the Black Sea and the North Sea and the Baltic Sea, and between the Mediterranean Sea and the North Sea. The connection between the Rhine and the Danube after the opening of the Main-Danube Canal in 1992 is of particular importance. Even if Ponto-Caspian species from the Black Sea river basin are not considered for inclusion on the Union list according to Article 4 para 3a of the EU Regulation, several invasive aquatic species have reached Germany along this route (Nehring et al. 2015, Rabitsch & Nehring 2017), and measures could be implemented, either in accordance with Article 11 (Invasive alien species of regional concern) or Article 12 (Invasive alien species of Member State concern).

The pathway “Unassisted dispersal along canals or waterways between river basins / seas” refers to movements of alien species in or along canals and waterways without human help, while transport in “ballast water” is viewed as a pathway in its own right, along with transport through “growth / accumulation on the body of ships” (BfN, in prep.). The altogether 86 nominations which have been identified for this pathway refer for the most part (85%) to the spread stage of invasions.

Ornamental species (animals and plants)

This pathway refers to the (intentional, here not relevant) introduction of species for use as ornamental plant or animal and the subsequent release or spread, i.e. the escape of species from holdings outside buildings, e.g. from public or private parks or gardens, including garden ponds. The pathway does not refer to species under “pet trade / aquaristics / terraristics”, which are usually kept in buildings and can also escape unintentionally.

With a workforce of around 700,000 and an annual turnover of around 80 billion euros, horticulture is an important economic factor in Germany, especially in retail and wholesale trade (BMEL 2014). It includes the production (growing of ornamental plants, fruit and vegetable growing, tree nurseries) and service sector (horticulture and landscaping, cemetery gardening). In 2012, there were around 4,500 enterprises in Germany producing ornamental plants outside or under glass (e.g. 1.2 million flower bed and balcony plants and shrubs, 142 million indoor plants). More than 40% of the land used outside and under glass is situated in the Federal State of North Rhine-Westphalia. Additionally, flowers and plants worth around 2.2 billion euros were imported to Germany in 2013, mainly from the Netherlands, of which 243 million euros went to tree nursery goods and 195 million euros to flower bed and balcony plants and outside shrubs. Exports of ornamental plants, especially to other European countries, amounted to 764 million euros (of which 173 million euros were accounted for by tree

FEDERAL WATERWAYS

- Federal Waterways and Shipping Agency



Source: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, January 2014, Map W 162 en
Cartography: Fachstelle für Geoinformationen Süd, Regensburg, provided according to GeoNutzV
Some German Waterways with a length below 5 km are not depicted due to the map scale.





- | | | | |
|--------------------|--|--|-------------------------------------|
| BONN ■ | Location of the Waterways and Shipping Directorate-General (GDWS) |  | Boundary between two Region Offices |
| MAINZ ■ | Location of a Region Office |  | unclassified waterway |
| Bingen ◆ | Location of a German Waterways and Shipping Office (Wasser- und Schiffsamt, WSA) |  | Waterway Classes I to III |
| KARLSRUHE ● | Location of a supreme authority / Federal Institute within the Federal Waterways and Shipping Agency |  | Waterway Classes IV to VI |

Figure 17: The federal waterways of Germany (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, January 2014, Map: "W 162 en").

nursery goods (BMEL 2014).

The use of ornamental animals outside, with aesthetic motives, is mainly of historical importance and usually associated with intentional pathways and the direct release of species (e.g. biological control, fisheries, hunting). However, there are several known cases in which ornamental species that were not held in buildings escaped into the wild (e.g. squirrels, bullfrogs, ornamental birds, tortoises). This is especially true of species held in garden ponds from which they escaped (e.g. crayfish). According to Chucholl (2013), Germany is the main importer of non-European crayfish species in Europe, with an average of seven new species commercially available per year since 2005. Of the 120 species that are available, 105 originate from North or Central America and are thus potential vectors of the crayfish plague. According to estimates of the German Pet Trade & Industry Association, there are around 2.6 million garden ponds in Germany (ZZF 2012). Several ornamental bird species have formed unstable populations (e.g. bar-headed goose) and established populations (ruddy shelduck) in the wild from originally private holdings where they were given free flight (Bauer & Woog 2008). Detailed data on the quantity and diversity of the species relevant here are not available for Germany and could at best be understood as a lower limit if one takes into account private online business.

Ballast water

Seagoing vessels with small loads or unloaded vessels have to carry so-called ballast water in appropriate tanks to maintain stability. Ballast water contains a large number of organisms which are discharged together with the ballast to open ocean areas at the destination at the end of a voyage. Ballast water is the most important pathway in the transport of marine organisms (Gollasch & Matej 2015). For the purposes of this analysis which addresses the species on the Union list, ballast water is of minor importance and only relevant for *Eriocheir sinensis*. When taking into account all the invasive species in Germany, the importance of ballast water increases as expected, as a pathway of almost equal importance at the three invasion stages introduction, release or escape, and spread. It is estimated that between 2 and 10 million tonnes of ballast water are discharged at German ports every year.

Under the Ballast Water Management Convention for larger merchant ships a new set of regulations entered into force in 2017 to prevent the unintentional transport of species. Possible measures available are water exchange and/or approved ballast water treatment systems (using filters, biocide or UV light treatment). Inland water vessels and smaller vessels with smaller draughts in marine navigation also use ballast water, although their relevance for species transportation is scarcely known and has as yet not been sufficiently investigated.

Material from garden centres and tree nurseries

This pathway in the category “contamination of transported goods” describes the unintentional introduction, release or escape, and spread of alien species during activities carried out in garden centres and tree nurseries when not only the plants themselves are transported but also the substrate in which they grow (e.g. potting soil), which may contain a number of organisms (e.g. insects, fungi, plant seeds). The pathway is of minor importance for the species on the Union list, while this is not the case for the invasive species in Germany, where it is relevant at all three invasion stages. The considerable economic importance of horticulture has already been described above (BMEL 2014).

Growth / accumulation on the body of ships

A large number of aquatic, mainly marine, organisms colonise hard substrate and are able to survive on the surface of the body of ships. This pathway, also referred to as “fouling”, is not of great importance for species on the Union list, but frequently occurs (43 nominations) at all three stages of

invasion for the invasive species in Germany. Potential negative impacts of the transportation of species are aggravated by economically relevant transport obstructions such as ships being slowed down by increased water resistance. “Anti-fouling” measures include mechanical and chemical methods (chemical methods being subject to a number of legal requirements, e.g. the EU Biocides Regulation).

Contamination of soil, gravel, dead plants

This pathway in the category “contamination of transported goods” describes the unintentional introduction, release or escape, and spread of alien species during the transport of soil, gravel, dead plants or other plant products (e.g. hay, straw, garden waste) and similar material in which they are transported. With 41 nominations for the species on the Union list (almost exclusively plants) and the other invasive plants, this pathway has a high relevance. It can be assumed that management measures to control this pathway can only be implemented if huge efforts are made.

Pet trade / aquaristics / terraristics

This pathway includes the (not relevant here) intentional introduction, release or escape of non-domesticated companion animals in buildings, as well as their unintentional release or escape, i.e. species escaping from apartments, aquaria or terraria. The 39 nominations for this pathway thus all refer to the release or escape stage of invasion. More than half of the nominations (54%) refer to species on the Union list, for which this pathway is of high relevance (Fig. 16). According to estimates of the German Pet Trade & Industry Association, around 7.6 million small mammals and 3.7 million ornamental birds are kept in German households, along with around 2.3 million aquaria and 0.8 million terraria (ZZF 2012). The considerable economic importance of ornamental species has already been mentioned above

In or on appliances / machinery / equipment

This pathway from the category “stowaways” describes the unintentional introduction, release or escape, and spread of alien species through different appliances and machinery, in which these species are contained and/or to which they are attached, such as parts of plants and plant seeds or adult insects and their development stages. With altogether 33 nominations for the species on the Union list and the other invasive species, this pathway is of medium relevance. The implementation of direct management measures (e.g. compulsory cleaning of appliances and machinery before use) to control this pathway presumably requires a huge effort and is difficult to supervise.

In or on cars and trains

This pathway belongs to the category “stowaway” and describes the unintentional introduction, release or escape, and spread of alien species through cars, trucks and trains in which these species are contained and/or to which they are attached. With altogether 32 nominations for the species on the Union list and the other invasive species, the relevance of this pathway is similar to the pathway “in or on appliances / machinery / equipment, and presumably there are similar difficulties when it comes to the development of management measures to control this pathway.

In or on plant bio-vectors

This pathway in the category “contamination of transported goods” describes the unintentional introduction, release or escape, and spread of alien species during transports of animals (hosts) in which these alien species are contained and/or to which they are attached as parasites, commensals or pathogens (e.g. fungi, viruses, mites). For the transport of species in or on animal bio-vectors a separate pathway can be selected, as well as for transports in or on animals or live plants, except those

which the organism needs as a host. This pathway is not relevant for the species from the Union list and as for the other invasive species, most of the nominations refer to fungi.

4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In this study, we propose a list of unintentional pathways of introduction and spread for the invasive alien species from the Union list which should be given priority in the implementation of the Regulation (EU) 1143/2014 in Germany. In our assessment, the pathways “unaided (unsupported by humans)”, “unassisted dispersal along canals or waterways”, “pet trade / aquaristics / terraristics” and “ornamental species” are the top priority pathways. A further analysis of other species listed as invasive in Germany, however, shows the high relevance of further pathways. Species selection thus plays a central role in the prioritisation of pathways. As marine species are not included on the Union list, categories such as “ballast water” and “growth / accumulation on the body of ships” have high priority only when the other species that are listed as invasive in Germany are included in the assessment (e.g. Katsanevakis et al. 2013). For the same reasons, pathways of particular importance for agriculture and forestry (e.g. wood shipments) or human health (e.g. biological remediation and waste management) are under-represented among the species on the Union list. Against this background, and although under the EU Regulation the prioritisation of pathways is restricted to the species on the Union list, we believe that it is important to take the other species that are listed as invasive in Germany also into account for the implementation and development of action plans so that all relevant introduction and spread pathways are included. In this way, it might be possible to anticipate an extensive adaptation of the action plans which will become necessary when the Union list is extended in the future. Although it is not foreseeable when or how often such extensions will take place (e.g. Carboneras et al. 2017, Roy et al. *subm.*), the prioritisation and the action plans have to be adapted – where necessary – within 18 months of the coming into force of an extension of the Union list. The Union list, after the first extension, currently contains 49 invasive species (Nehring & Skowronek 2017), all of which are already included in the extended data set of the prioritisation study presented here.

The most frequently mentioned pathway “unaided (unsupported by humans)”, i.e. spread processes caused by the species themselves (of their own accord and without the use of infrastructure created by humans), refers to movements which originate from an area into which the species have previously been introduced by humans. Such spread processes can hardly be prevented through direct measures that are targeted directly at this pathway. The best strategy to control this pathway is awareness training and public relation work to guarantee early detection and immediate reaction against invasive alien species at the beginning of an invasion, and corresponding action to minimise the introduction, release or escape, and the establishment and spread of the species in neighbouring EU countries.

The most frequently mentioned pathway “unaided (unsupported by humans)”, i.e. spread processes caused by the species themselves (of their own accord and without the use of infrastructure created by humans), refers to movements which originate from an area into which the species have previously been introduced by humans. This pathway cannot be controlled through measures that are targeted at a specific pathway. It is therefore not considered in our prioritisation. The best strategy in this context is early detection and immediate reaction against invasive alien species at the beginning of an invasion, and action to be taken on pathways to minimise the introduction, release or escape, and the establishment and spread of the species in neighbouring countries, i.e. in other EU Member States into which the species are introduced by humans.

The aim of the prioritisation is to identify pathways for which appropriate management measures can be prepared to be included in one single or a set of action plans (according to Article 13 para 2 of the EU Regulation). For this purpose, it is necessary to find out whether pathways requiring the same

measures can be combined, or whether other pathways that are too broad-ranging need to be split up. The pathway “ornamental species” could be divided into “ornamental plants” and “ornamental animals”, and one could consider whether putting “ornamental animals” together with “pet trade / aquaristics / terraristics” would make sense. The pathway “in or on the body of ships” could be further divided into inland waters, leisure and ocean shipping, each with its own assigned measures, and the same categories could be created under “growth / accumulation on the body of ships”.

The pathway “botanic gardens / zoo (enclosures, public aquarium)” also refers to different stakeholders and thus different options for measures. It might make sense to develop separate action plans for botanic gardens and zoos. As regards the development of action plans for the pathway “in or on cars and trains”, one could make a distinction between railway vehicles and automobiles, and further distinguish between commercial and private vehicles as well as between goods and passenger transport.

As many invasive species use more than one pathway (Pergl et al. 2017, Saul et al. 2017), measures taken against a single pathway are likely to produce synergy effects. Also, existing rules and regulations need to be considered when developing measures for action plans, such as the Ballast Water Management Convention for merchant ships with a registered tonnage >400 (BMVI 2017).

On the whole, the scientific knowledge about the used pathways is sufficient for the evaluations presented here. However, the fact that a number of data are based on expert assessments (“likely”) suggests certain data deficits, especially in the documentation (publication) of the pathways of introduction which, on average, show bigger knowledge gaps than the pathways of the two later stages of invasion. The pathways for the species on the Union list are usually better known than those for the species listed as invasive in Germany, which can be explained by the fact that more attention is given to the species of the Union list.

Where species use more than one pathway, the relevant importance of these pathways (number of individuals, frequency, relevance) may vary. At the time when the study was carried out, the data available on the 130 analysed species were not sufficient to allow a quantitative assessment of the relative importance of individual pathways. Therefore, all of the used pathways were regarded as equal importance. Giving appropriate weighting to pathways according their use would be a possible option when updating this prioritisation after the Union list has been extended or if new data on the importance of the pathways become available.

For the elaboration of practical measures within the pathway action plans one also needs to consider that their importance may change over time (Hulme 2009, Essl et al. 2015). Historical pathways may no longer be relevant (e.g. fur animal farming in many European countries) and new pathways may emerge that did not exist in the past (e.g. import of energy plants, online trading) (Essl et al. 2015, Humair et al. 2015). Information on historical pathways has been used for this analysis; this needs to be taken into account for the development and preparation of action plans.

Conclusions

With the requirement for Member States to develop action plans for the management of priority pathways, the EU Regulation has given nature conservation a powerful instrument to prevent biological invasions (McGeoch et al. 2015). Identifying those pathways which have the highest relevance for Germany is a first step. Based on this, professional and appropriate measures are to be developed through which the unintentional introduction, the release or escape and the spread of species along these pathways can be controlled. It will be worthwhile to invest in the development and implementa-

tion of such measures, as an effective management of invasion pathways will address causes of spread and the adverse impact of invasive alien species.

5 ACKNOWLEDGMENTS

We thank the participants in the working group which was set up to support the project for the helpful and constructive discussions of the method used for our prioritisation and of the results.

6 LITERATURE

- Bauer, H.-G. & Woog, F. (2008): Nichtheimische Vogelarten (Neozoen) in Deutschland, Teil I: Auftreten, Bestände und Status. *Vogelwarte* 46: 157-194.
- BfN (German Agency for Nature Conservation) (in prep.): Methodik der Naturschutzfachlichen Invasivitätsbewertung für gebietsfremde Arten, Version 2.0. BfN-Skripten.
- Blackburn, T.M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J.T., Duncan, R.P., Jarošík, V., Wilson, J.R.U. & Richardson, D.M. (2011): A proposed unified framework for biological invasions. *Trends Ecol. Evol.* 26: 333-339.
- BMEL (2014): Der Gartenbau in Deutschland. Daten und Fakten. Bonn: 39 S.
- BMVI (2017): <http://www.deutsche-flagge.de/de/umweltschutz/ballastwasser>
- Carboneras, C., Genovesi, P., Vilà, M., Blackburn, T.M., Carrete, M., Clavero, M., D'hondt, B., Orueta, J.F., Gallardo, B., Galdames, P., González-Moreno, P., Gregory, R.D., Nentwig, W., Paquet, J.-Y., Pyšek, P., Rabitsch, W., Ramírez, I., Scalera, R., Tella, J.L., Walton, P. & Wynde, R. (2017): A prioritised list of invasive alien species to assist the effective implementation of EU legislation. *J. Appl. Ecol. Early View*, 10.1111/1365-2664.12997
- Chucholl, C. (2013): Invaders for sale: Trade and determinants of introduction of ornamental freshwater crayfish. *Biol. Invasions* 15: 125-141.
- DWSV (2017): <http://schiffahrtsverein.de/>
- EC (European Commission) (2017): <https://circabc.europa.eu/faces/jsp/extension/wai/navigation/container.jsp>
- Essl, F., Bacher, S., Blackburn, T.M., Booy, O., Brundu, G., Brunel, S., Cardoso, A.-C., Eschen, R., Gallardo, B., Galil, B., García-Berthou, E., Genovesi, P., Groom, Q., Harrower, C., Hulme, P.E., Katsanevakis, S., Kenis, M., Kühn, I., Kumschick, S., Martinou, A.F., Nentwig, W., O'Flynn, C., Pagad, S., Pergl, J., Pyšek, P., Rabitsch, W., Richardson, D.M., Roques, A., Roy, H.E., Scalera, R., Schindler, S., Seebens, H., Vanderhoeven, S., Vilà, M., Wilson, J.R.U., Zenetos, A. & Jeschke, J.M. (2015): Crossing frontiers in tackling pathways of biological invasions. *Bioscience* 65: 769-782.
- Gollasch, S. & Matej, D. (2015): *Global maritime transport and ballast water management*. Springer, 306 S.
- Hulme, P.E. (2009): Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *J. Appl. Ecol.* 46: 10-18.
- Hulme, P.E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W., Olenin, S., Panov, V., Pergl, J., Pyšek, P., Roques, A., Sol, D., Solarz, W. & Vilà, M. (2008): Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *J. Appl. Ecol.* 45: 403-414.
- Humair, F., Humair, L., Kuhn, F. & Kueffer, C. (2015): E-commerce trade in invasive plants. *Conserv. Biol.* 29: 1658-1665.
- Jeschke, J.M., Keesing, F. & Ostfeld, R.S. (2013): Novel organisms: comparing invasive species, GMOs, and emerging pathogens. *Ambio* 42: 541-548.
- Katsanevakis, S., Zenetos, A., Belchior, C. & Cardoso, A.C. (2013): Invading European seas: assessing pathways of introduction of marine aliens. *Ocean Coast. Manag.* 76: 64-74.
- McGeoch, M.A., Genovesi, P., Bellingham, P.J., Costello, M.J., McGrannachan, C. & Sheppard, A. (2016): Prioritizing species, pathways, and sites to achieve conservation targets for biological invasion. *Biol. Invasions* 18: 299-314.
- Nehring, S. & Skowronek, S. (2017) Die invasiven gebietsfremden Arten der Unionsliste der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 - Erste Fortschreibung 2017. BfN-Skripten 471: 1-176.
- Nehring, S., Kowarik, I., Rabitsch, W. & Essl, F. (2013): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Gefäßpflanzen BfN-Skripten 352: 1-204.
- Nehring, S., Rabitsch, W., Kowarik, I. & Essl, F. (2015): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Wirbeltiere. BfN-Skripten 409: 1-222.
- Rabitsch, W. & Nehring, S. (2017): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde aquatische Pilze, Niedere Pflanzen und Wirbellose Tiere. BfN-Skripten 458: 1-222.
- Roy, H.E., Bacher, S., Essl, F., Adriaens, T., Aldridge, D.C., Bishop, J.D., Blackburn, T.M., Branquart, E., Brodie, J., Carboneras, C., Cook, E.J., Copp, G.H., Dean, H.J., Eilenberg, J., Gallardo, B., Garcia, M., Garcia-Berthou, E., Genovesi, P., Hulme, P.E., Kenis, M., Kerckhof, F., Kettunen, M., Minchin, D., Nentwig, W., Nieto, A., Pergl, J., Pescott, O.L., Peyton, J., Preda, C., Rabitsch, W., Roques, A., Rorke, S.L., Scalera, R., Schindler, S., Schonrogge, K., Sewell, J., Solarz, W., Stewart, A.J., Tricarico, E., Vanderhoeven, S., van der Velde, G., Vilà, M., Wood, C.A. & Zenetos, A.: Horizon scanning for invasive alien species likely to threaten biodiversity in the European Union. *J. Appl. Ecol.* Submitted.
- Saul, W.-C., Roy, H.E., Booy, O., Carnevali, L., Chen, H.-J., Genovesi, P., Harrower, C.A., Hulme, P.E., Pagad, S., Pergl, J. & Jeschke, J.M. (2017): Assessing patterns in introduction pathways of alien species by linking major invasion databases. *J. Appl. Ecol.* 54: 657-669.
- UNEP (2014): Pathways of introduction of invasive species, their prioritization and management. Decision XII/17 CBD COP12. <http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-18/official/sbstta-18-09-add1-en.pdf>
- ZZF (2016): Die Deutschen begeistern sich für Heimtiere. <https://www.zzf.de/presse/meldungen/meldungen/article/die-deutschen-begeistern-sich-fuer-heimtiere.html>