

Emissionsbasierte Produktbewertung von Holzanstrichen im Aussenraum

Version 1.0

Michael Burkhardt, OST Ostschweizer Fachhochschule, UMTEC, Rapperswil
Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, Zürich
Mirko Rohr, OST Ostschweizer Fachhochschule, UMTEC, Rapperswil
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, Zürich

Begleitgruppe

Jeremy Michel	Schweizer Stiftung Farbe
Maria a Marca	BAFU, Sektion Biozide und Pflanzenschutzmittel
Jürg Niebecker	Adler Lack AG
Marion Junghans	Oekotoxzentrum
Jonas Unternährer	Holzindustrie Schweiz, Imprägnierwerk Willisau
André Schaller	Bosshard-Farben AG
Hansueli Schmid	Lignum
Stefan Schrader	Büro für Nachhaltigkeit am Bau
Guido Thalmann	Holzindustrie Schweiz, Imprägnierwerk Willisau
Irene Wittmer	VSA Plattform Wasserqualität

Unterstützung

Das Projekt wurde unterstützt durch die Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz (WHFF-CH) der Konferenz für Wald, Wildtiere und Landschaft (KWL) sowie dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wald.

Für den Inhalt sind allein die Auftragnehmer verantwortlich.

Rapperswil und Zürich, 14. Dezember 2023

Zusammenfassung

Gewässerbelastende Stoffe können mit dem Regen vom Gebäude abgeschwemmt werden und über die Kanalisation, Versickerung oder Direkteinleitung in die Umwelt gelangen. Holz gilt als ökologischer Baustoff im Gebäudebereich. Je nach Konstruktion und Umweltexposition kann das Holz über die Zeit vergrauen. Falls dies unerwünscht ist, kann diesem Prozess durch biozidhaltige Holzschutzmittel oder Holzfarben vorgebeugt werden. Die Auswaschung der darin enthaltenen Biozide wurde im Labor für acht unterschiedliche Produkte untersucht und die mögliche Gewässerbelastung mittels Modellierung abgeschätzt. Als Umgebungsmodell wurde an ein bestehendes Konzept für Putze und Dachbahnen angeknüpft.

Für die Emissionsmodellierung der Produkte wird ein Konzept benötigt, um die relevanten Biozide eines Produkts zu identifizieren. Ein solches bietet der durch die Autoren erarbeitete "Persistenz-Toxizität"-Faktor (PT-Faktor). Aus der Konzentration eines Wirkstoffs in einem Produkt, seiner Abbaubarkeit in der Umwelt und dem aquatischen Qualitätskriterium lässt sich der PT-Faktor berechnen.

Eine Marktrecherche zu Holzschutzmittel (PA 8) ergab, dass gegenwärtig IPBC, gefolgt von Propiconazol und Permethrin, die wichtigsten Wirkstoffe sind. Zu Holzfarben (PA 7) konnten keine repräsentative Marktzahlen eruiert werden.

Untersucht wurden vier zweischichtige Systeme (Grundierung und Lasur), drei einschichtige Produkte (zwei Lasuren, ein Decklack) sowie ein druckimprägniertes Produkt als Vergleich. Die Druckimprägnierung war noch mit einem Decklack versehen. Die Produkte ergänzen sich bezüglich Anwendungszweck und Wirkstoffe. Die Wirkstoffe und deren Einsatzmengen waren für alle Produkte bekannt.

Die Auswaschung der Biozide streute substanz- und produktspezifisch deutlich. Generell wurden mehr Biozide ausgewaschen, je höher die Einsatzkonzentration im Produkt war. Weiterhin war auch zu beobachten, dass in gewissen Produkten trotz höherer Einsatzkonzentration weniger Wirkstoff freigesetzt wurde als bei einem Vergleichsprodukt. Vorvergrauungslasuren sollen das Holz weniger lang schützen als Anstrichsysteme mit Grundierung und Deckanstrich. Daher sind die Emissionen zwischen ein- und zweischichtigen Beschichtungen verschieden. Die Druckimprägnierung setzt toxischere Biozide frei als die anderen Produkte, führt jedoch zu geringeren Emissionen.

Die Bewertung bezieht die Wirkung aller emittierten Biozide ein, indem eine Mischungstoxizität berechnet wird. Die Mischungstoxizität wird durch die Summe der Risikoquotienten gebildet. Wird ihr Wert grösser als 1, können schädliche Auswirkungen auf aquatische Organismen nicht ausgeschlossen werden. Die Auswertung der Risikoquotienten aus der Modellierung wird überführt in eine Bewertungsskala. Zwei mögliche Bewertungsskalen wurden geprüft, eine dreistufige und eine vierstufige.

Bei der Anwendung einer dreistufigen Bewertungsskala entspricht die Emissionsbewertung Stufe 1 der Klassierung «niedrig», Stufe 2 «mittel» und Stufe 3 «hoch». Bei einer 4-stufigen Klassierung entsprechen Stufe 1 der Klassierung «keine Abstufung», Stufe 2 der Klassierung «niedrig», Stufe 3 «mittel» und Stufe 4 «hoch». Wir empfehlen die Anwendung der dreistufigen Bewertung in der Umweltetikette der Stiftung Farbe.

Die emissionsbasierte Beurteilung erlaubt die differenzierte Einstufung von Produkten. Zusätzlich zur auf Inhaltsstoffen basierenden Bewertung erlaubt sie jedoch, stärker die Umweltwirkung zu betonen und Hinweise zur Optimierung des Stoffeinsatzes zu geben. Die Resultate zeigen, dass schon heute rezepturbedingte Unterschiede in der Auswaschraten bestehen. Besser eingebundene Biozide erhöhen nicht nur die Wirksamkeit, da die Biozide länger im Produkt verbleiben, sondern reduzieren auch die Gewässerbelastungen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	8
1.1	Ausgangslage	8
1.2	Fragestellung	8
1.3	Zielsetzung	9
2.	Produkte und Anwendungstechniken	10
2.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	10
2.2	Holzschutzmittel	10
2.3	Oberflächenbehandlungen	13
2.4	Anwendung	13
2.5	Eingesetzte Wirkstoffe	13
3.	Auswaschversuche	16
3.1	Auswahl der Produkte	16
3.2	Durchführung	17
3.3	Resultate	19
3.4	Bestimmung PT-Faktor zur Festlegung der relevanten Stoffe	22
4.	Modellierung der Gewässerbelastung	27
4.1	Einleitung	27
4.2	Modellstruktur und Funktionsweise	27
4.3	Emissionsszenario	29
5.	Bewertung der Konzentration im Gewässer	33
5.1	Mittelung für die Bewertung	33
5.2	Mischungstoxizität	34
5.3	Festlegung der Beurteilungswerte	35
5.4	Anwendung der Risikoquotienten für die Produktbewertung	36
6.	Simulationsresultate und Bewertung Nutzungsphase	39
6.1	Emissionsszenario und Bewertungsmaassstab mit Beispielpunkten	39
6.2	Lasuren	39
6.3	Beschichtungen mit Grundierung und Decklack	40
6.4	Decklack	43
6.5	Druckimprägnierung	44
7.	Emissionsbasierte Produktauszeichnung	46
7.1	Einleitung	46
7.2	Bestehende Bewertungsmethodik der Umweltetikette	46
7.3	Klassierung der untersuchten Produkte mit bestehender Methodik der Umweltetikette	47
7.4	Klassierung für eine emissionsbasierte Bewertung	48
7.5	Vergleich der emissionsbasierten Bewertung mit der Bewertung der Umweltetikette	49
7.6	Mögliches Vorgehen für die Produktbewertung	51
8.	Synthese	53
8.1	Grosse Produktunterschiede	53
8.2	Emissionsbasierte Bewertung durch ein Label als Anreiz für Produktoptimierung	53
8.3	Emissionsbasierte Bewertung einsetzbar für die Produktoptimierung	54
8.4	Holzschutzmittel: Differenzierte Bewertung in der Umweltetikette	54
8.5	PT-Faktor liefert gutes Mass für relevante Emissionen	55
9.	Offene Fragestellungen	56
9.1	Polymeres Betain	56
9.2	Emissionen aus Druckimprägnierungen	56
10.	Literaturverzeichnis	57
A	Auswaschversuche	59
A.1	Prüfkörperherstellung	59
A.2	Resultate	60
B	Emissionsmodellierung	61

Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Gebrauchsklassen von Holzprodukten nach SN EN 335:2013.....	11
Abbildung 2: Empfohlene Massnahmen im Holzbau gemäss Lignum.....	12
Abbildung 3: Vergleich der registrierten Wirkstoffe im schweizerischen Holzschutzmittelverzeichnis 2012 und 2021	14
Abbildung 4: Links: Beschichteter Prüfkörper (Weisstanne). Rechts: Druckimprägnierter Prüfkörper. .	18
Abbildung 5: Oben: Prüfkörper während Trocknungsphase zwischen zwei Kurzzeittauchzyklen. Unten: Prüfkörper im einstündigen Wasserkontakt.	19
Abbildung 6: Resultierende Konzentrationen (links) und kumulierte Emissionen (rechts) von IPBC aus den getesteten Produkten im Auswaschversuch.	20
Abbildung 7: Resultierende spezifische Emissionen (links) relative Emissionen (rechts) von Diuron aus den Produkten LA1, DL2 und DI1.	20
Abbildung 8: Konzentration (links) und kumulierte Emission (rechts) von Propiconazol (oben), Tebuconazol (Mitte) und Cyproconazol (unten) der untersuchten Produkte im Auswaschversuch.	21
Abbildung 9: Elektrische Leitfähigkeit (links) und pH-Wert (rechts) der untersuchten Produkte im Auswaschversuch.	22
Abbildung 10: Systemgrenzen von COMLEAM.	28
Abbildung 11: Modularer Aufbau des COMLEAM Modells.	28
Abbildung 12: Logarithmische Emissionsfunktion (Beispiel), anhand von Labordaten parametrisiert. ...	29
Abbildung 13: Grundfläche des betrachteten Einzelgebäudes inklusive dazugehöriger Verdünnungsfläche.	30
Abbildung 14: Das Einzugsgebiet des Strackbachs am Pegel Gerlafingen.....	32
Abbildung 15: Biozidkonzentrationen im Gewässer im ersten halben Jahr eines simulierten Verlaufs. Vergleich der Stundenwerte der Simulation mit den gemittelten Werten über 3.5 und 14 Tage.	34
Abbildung 16: Bewertungsschema für die Produktbewertung 3- oder 4-stufig	38
Abbildung 17: Emissionen von LA1, bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	40
Abbildung 18: Emissionen von G/L1 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	41
Abbildung 19: Emissionen von G/L2 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	42
Abbildung 20: Emissionen von G/L3 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	43
Abbildung 21: Emissionen von DL1 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	44
Abbildung 22: Emissionen von DI1 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	45
Abbildung 23: Stiftung Farbe Schweiz, Bewertungsraster für Lacke, Holz- und Bodenbeschichtungen und Holzschutzmittel. (Verwendung mit freundlicher Genehmigung Stiftung Farbe).	46
Abbildung 24: Bewertung Filmschutzmittel in Lacken, Holz-, Bodenbeschichtungen und Holzschutzmittel, Schweizer Stiftung Farbe Schweiz. (Verwendung mit freundlicher Genehmigung Stiftung Farbe).....	47
Abbildung 25: Bewertungsschema für die emissionsbasierte Produktbewertung.....	51
Abbildung 26: Auswaschresultate von IPBC und OIT aller Produkte.....	60
Abbildung 27: Beitrag Einzelstoff Permethrin in G/L1 zur Kombiwirkung.	61
Abbildung 28: Beitrag Einzelstoff Tebuconazol in G/L1 zur Kombiwirkung.	62
Abbildung 29: Beitrag Einzelstoff Permethrin in G/L2 zur Kombiwirkung.	63
Abbildung 30: Beitrag Einzelstoff Tebuconazol in G/L2 zur Kombiwirkung.	64
Abbildung 31: Beitrag Einzelstoff Cyproconazol in DI1 zur Kombiwirkung.	65
Abbildung 32 Beitrag Einzelstoff Thiacloprid in DI1 zur Kombiwirkung.....	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gebrauchsklassen von Holzprodukten nach SN EN 335:2013.....	11
Abbildung 2: Empfohlene Massnahmen im Holzbau gemäss Lignum.....	12
Abbildung 3: Vergleich der registrierten Wirkstoffe im schweizerischen Holzschutzmittelverzeichnis 2012 und 2021	14
Abbildung 4: Links: Beschichteter Prüfkörper (Weisstanne). Rechts: Druckimprägnierter Prüfkörper. .	18
Abbildung 5: Oben: Prüfkörper während Trocknungsphase zwischen zwei Kurzzeittauchzyklen. Unten: Prüfkörper im einstündigen Wasserkontakt.	19
Abbildung 6: Resultierende Konzentrationen (links) und kumulierte Emissionen (rechts) von IPBC aus den getesteten Produkten im Auswaschversuch.	20
Abbildung 7: Resultierende spezifische Emissionen (links) relative Emissionen (rechts) von Diuron aus den Produkten LA1, DL2 und DI1.	20
Abbildung 8: Konzentration (links) und kumulierte Emission (rechts) von Propiconazol (oben), Tebuconazol (Mitte) und Cyproconazol (unten) der untersuchten Produkte im Auswaschversuch.	21
Abbildung 9: Elektrische Leitfähigkeit (links) und pH-Wert (rechts) der untersuchten Produkte im Auswaschversuch.	22
Abbildung 10: Systemgrenzen von COMLEAM.	28
Abbildung 11: Modularer Aufbau des COMLEAM Modells.	28
Abbildung 12: Logarithmische Emissionsfunktion (Beispiel), anhand von Labordaten parametrisiert. ...	29
Abbildung 13: Grundfläche des betrachteten Einzelgebäudes inklusive dazugehöriger Verdünnungsfläche.	30
Abbildung 14: Das Einzugsgebiet des Strackbachs am Pegel Gerlafingen.....	32
Abbildung 15: Biozidkonzentrationen im Gewässer im ersten halben Jahr eines simulierten Verlaufs. Vergleich der Stundenwerte der Simulation mit den gemittelten Werten über 3.5 und 14 Tage.	34
Abbildung 16: Bewertungsschema für die Produktbewertung 3- oder 4-stufig	38
Abbildung 17: Emissionen von LA1, bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	40
Abbildung 18: Emissionen von G/L1 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	41
Abbildung 19: Emissionen von G/L2 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	42
Abbildung 20: Emissionen von G/L3 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	43
Abbildung 21: Emissionen von DL1 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	44
Abbildung 22: Emissionen von DI1 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$	45
Abbildung 23: Stiftung Farbe Schweiz, Bewertungsraster für Lacke, Holz- und Bodenbeschichtungen und Holzschutzmittel. (Verwendung mit freundlicher Genehmigung Stiftung Farbe).	46
Abbildung 24: Bewertung Filmschutzmittel in Lacken, Holz-, Bodenbeschichtungen und Holzschutzmittel, Schweizer Stiftung Farbe Schweiz. (Verwendung mit freundlicher Genehmigung Stiftung Farbe).....	47
Abbildung 25: Bewertungsschema für die emissionsbasierte Produktbewertung.....	51
Abbildung 26: Auswaschresultate von IPBC und OIT aller Produkte.....	60
Abbildung 27: Beitrag Einzelstoff Permethrin in G/L1 zur Kombiwirkung.	61
Abbildung 28: Beitrag Einzelstoff Tebuconazol in G/L1 zur Kombiwirkung.	62
Abbildung 29: Beitrag Einzelstoff Permethrin in G/L2 zur Kombiwirkung.	63
Abbildung 30: Beitrag Einzelstoff Tebuconazol in G/L2 zur Kombiwirkung.	64
Abbildung 31: Beitrag Einzelstoff Cyproconazol in DI1 zur Kombiwirkung.	65
Abbildung 32 Beitrag Einzelstoff Thiacloprid in DI1 zur Kombiwirkung.....	66

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung des PT-Faktors.	22
Formel 2: Berechnung der Gewässergrösse pro Gebäude.	32
Formel 3: Berechnung des akuten Risikoquotienten	35
Formel 4: Berechnung des chronischen Risikoquotienten.....	35

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Das Bauen mit Holz erfreut sich zunehmender Beliebtheit. Gerne wird heute auch «Holz gezeitigt». Holzfassaden sind an Mehrfamilienhäusern, Hallen und Bürogebäuden keine Seltenheit mehr. Die natürliche Verwitterung von Holz mit den damit einhergehenden farblichen Veränderungen wird in diesem Kontext jedoch oft als störend angesehen.

Mit dem Trend zu mehr sichtbarem Holz steigt auch die Nachfrage nach Holzfarben, die die klassischen Holzschutzmittel ersetzen können. Sie gelten nicht als Holzschutzmittel (Produktart 8), für welche die Anwendungsbereiche sehr eng ausgelegt sind, sondern als behandelte Waren, die biozidhaltige Filmschutzmittel enthalten (Produktart 7). Für Holzfarben stehen mehrere biozide Wirkstoffe zur Verfügung. Diese können mit dem Regen in die Gewässer gelangen und dort gegen aquatische Organismen wirken. Die Biozidemissionen aus Produkten für Holzbeschichtungen nehmen während der Nutzung mit der Zeit ab. Diese Emissionen können dem nachhaltigen Ruf, den Holz zu Recht trägt, abträglich sein.

Herstellern fehlt oft eine einfach anwendbare Orientierung, welche Rezepturen während der Nutzungsdauer für die Umwelt nachteilig sein können, um diese Informationen in ihrer Entwicklung zu berücksichtigen.

Der Verlauf der Emissionen von vergleichsweise langlebigen Bioziden lässt sich mit einem Emissionsmodell beschreiben. Die Emissionen können nachfolgend mit ökotoxikologischen Qualitätskriterien bewertet werden, die aus wissenschaftlichen Daten zur Umweltwirkung abgeleitet sind. Mit einem solchen nutzungsorientierten Bewertungskonzept erhalten Verarbeiter und Hauseigentümer ein Instrument, um ökologisch vorteilhafte Produkte noch besser auswählen zu können. Hersteller können die modellgestützte Bewertung nutzen für ökologische Produktverbesserungen.

Das eco-Produktlabel von ecobau verwendet bereits ein entsprechendes Konzept zur Bewertung von Stoffemissionen aus Bauprodukten für Dachbahnen. Nachfolgend wird der Frage nachgegangen, wie sich das Konzept auf Holzbeschichtungen übertragen lässt.

1.2 Fragestellung

Emissionen aus Bauprodukten können zu Gewässerbelastungen führen (Wicke et al., 2021). Deshalb wurde schon in einer früheren Studie die Ökobilanz des Produktlebenszyklus von Baustoffen unter Einbezug der Emissionen während der Nutzung berechnet (Kasser et al., 2015). Für einige Produktgruppen steht die Auswaschung besonders im Fokus. Eine emissionsbasierte Produktbewertung wurde für drei entsprechende Baustoffgruppen entwickelt (Burkhardt et al., 2021b) :

- Bitumenbahnen mit Durchwurzelungsschutzmitteln
- EPDM-Bahnen mit Zink und Benzothiazol
- Fassadenputze mit Bioziden

Die Methodik wird im Eco-Produktlabel von ecobau eingesetzt (www.ecobau.ch). Sie wurde in der vorliegenden Studie auf Anstrichmittel für bewitterte Holzbauteile und eine Druckimprägnierung angewendet. Einerseits sollte anhand von einigen Produkten beurteilt werden, ob die Auswaschung von Bioziden aus diesen Anstrichen grundsätzlich zu einer Belastung von Gewässern führen können. Andererseits sollte überprüft werden, ob die Methode der emissionsbasierten Produktbewertung auch auf Biozid behandelte Anstriche auf Holz und Holzschutzmittel übertragbar ist.

1.3 Zielsetzung

Für Holzschutzfarben und Druckimprägnierungsmittel für Holzbauteile soll ein Bewertungskonzept für die Stoffemissionen, vor allem Biozide, bei einer bewitterten Nutzung im Aussenbereich erarbeitet werden. Das Konzept soll für eine mehrstufige Bewertung entwickelt werden. Eine 3-stufige Bewertung korrespondiert beispielsweise mit den Belastungsklassen gemäss VSA (Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), 2019). Eine 4-stufige Bewertung entspricht der Abstufung bei der Bewertung des Filmschutzes in der Umweltetikette der Stiftung Farbe.

Mittels modellgestützter Simulation soll die Auswaschung von Bioziden aus einer Fassade über mehrere Jahre und die Konzentrationen der Biozide in einem kleinen Gewässer abgeschätzt werden.

Das Modell wird parametrisiert aufgrund von Auswaschversuchen im Labor. Durchgeführt werden normierte Immersionstests nach DIN EN 16105:2011. Die dadurch gewonnenen neun Eluate werden chemisch analysiert auf die relevanten Stoffe (Biozide), den pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit.

Die Emissionen werden mit der Software COMLEAM (www.comleam.ch) modelliert, welche durch die OST entwickelt wurde und in verschiedenen Projekten sowie der Bewertungsmethodik bei ecobau eingesetzt wird. In der Modellierung wird ein Umgebungsszenario verwendet (Burkhardt et al., 2021).

Ausgehend von der bereits entwickelten Bewertungsmethode für Dachbahnen, wird die bestehende Methodik weiterentwickelt. Für die Integration der emissionsbasierten Bewertung von Holzschutzfarben in die Umweltetikette der Stiftung Farbe wird ein konkretes Vorgehen vorgeschlagen.

2. Produkte und Anwendungstechniken

2.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Enthalten Holzanstriche biozide Wirkstoffe, werden die Produkte entweder als Biozidprodukt oder als behandelte Ware klassiert. Die Handhabung beider Produktklassen wird in der Schweizerischen Biozidprodukteverordnung (VBP) geregelt. Der Unterschied liegt darin, dass behandelten Waren keine primäre Biozidfunktion (das gewollte Abtöten von lästigen Organismen) attestiert wird, im Gegensatz zu Biozidprodukten. Wird beispielsweise einer Holzfarbe ein Stoff zugesetzt, welcher die Farbe während der Anwendung vor Pilzen oder Algen schützt, wird die Farbe als behandelte Ware deklariert, da der Filmschutz keine primäre Funktion der Farbe darstellt. Der zugegebene Filmschutz hingegen muss als Biozidprodukt in der entsprechenden Produktart zugelassen sein. Für Farben ist dies die Produktart 7.

Weiter unterscheidet die VBP Hauptgruppen und Produktarten. Relevant für dieses Vorhaben ist die Hauptgruppe der Schutzmittel. Darunter fallen u.a. die Produktarten (PA)

- Schutzmittel für Produkte während der Lagerung (PA 6)
- Beschichtungsschutzmittel (PA 7)
- Holzschutzmittel (PA 8)

Je nach eingesetzten Bioziden und Biozidmengen fällt ein Produkt also in unterschiedliche Produktarten und erhält dadurch auch unterschiedliche Handhabungsbestimmungen. Es ist auch möglich, dass ein Biozidprodukt für mehrere PA zugelassen wird. Die biozidhaltigen Holzfarben gehören in PA 7, gewisse Grundierungen und Druckimprägnierungen in die Kategorie der Holzschutzmittel (PA 8). In Österreich war bis im Januar 2020 kein Biozidprodukt der PA7 zugelassen, im Vergleich zu 632 Holzschutzmitteln der PA 8 (Hauzenberger et al., 2020) .

2.2 Holzschutzmittel

Holzschutz kann konstruktiv oder chemisch erfolgen. Beide Methoden haben zum Ziel, das Holz von biologischem Abbau durch Pilze oder Insekten zu bewahren (Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, 2018).

Für Holzprodukte werden gemäss SN EN 335 fünf Gebrauchsklassen (GK) unterschieden, mit zunehmendem Witterungseinfluss und damit auch zunehmender Wahrscheinlichkeit des Auftretens von holzerstörenden Organismen (Abbildung 1). Für dieses Projekt relevant sind die GK 3 bis 4.

Gebrauchs- klasse	Allgemeine Gebrauchssituation ^a	Auftreten von Organismen ^{b,c}				
		Holz verfärbende Pilze	Holz zerstörende Pilze	Käfer	Termiten	Marine Organismen
1	Innenbereich, trocken	—	—	U	L	—
2	Innenbereich oder unter Dach, nicht der Witterung ausgesetzt. Möglichkeit der Kondensation	U	U	U	L	—
3	Außenbereich, ohne Erd- kontakt, der Witterung ausgesetzt. Wenn unterteilt: 3.1 eingeschränkt feuchte Bedingungen 3.2 anhaltend feuchte Bedingungen	U	U	U	L	—
4	Außenbereich, in Kontakt mit Erde oder Süßwasser	U	U	U	L	—
5	Dauerhaft oder regelmäßig in Salzwasser eingetaucht	U ^d	U ^d	U ^d	L ^d	U
U = ist überall in Europa und in den Gebieten der Europäischen Union verbreitet L = tritt lokal in Europa und in den Gebieten der Europäischen Union auf						
^a Es bestehen Grenz- und Extremfälle für den Gebrauch von Holz und Holzprodukten. Diese können dazu führen, dass eine Gebrauchsklasse zugewiesen wird, die von den Festlegungen in dieser Norm abweicht (siehe Anhang B). ^b Ein Schutz gegen alle aufgeführten Organismen ist nicht unbedingt erforderlich, da diese nicht unter allen Gebrauchsbedingungen an allen geographischen Standorten vorkommen oder wirtschaftlich von Bedeutung sind oder diese nicht in der Lage sind, bestimmte Holzprodukte aufgrund des spezifischen Zustands des Produkts zu befallen. ^c Siehe Anhang C. ^d Der oberhalb des Wasserspiegels befindliche Bereich von bestimmten Holzbauteilen kann allen genannten Organismen ausgesetzt sein.						

Abbildung 1: Gebrauchsklassen von Holzprodukten nach SN EN 335:2013.

Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, die Dachorganisation der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft, gibt Empfehlungen zu den nötigen Schutzmassnahmen im Holzbau ab (Schmid, 2023). Primär soll Holzschutz baulich oder physikalisch erfolgen. Chemischer Holzschutz wird nur empfohlen, sofern andere Möglichkeiten nicht umsetzbar sind. Je nach Gebrauchsklasse sind verschiedene Schutzmassnahmen empfohlen.

Wird kein chemischer Holzschutz verwendet, wird auf die Dauerhaftigkeitsklasse des Holzes und damit auf die Holzart verwiesen. Robinie gilt bspw. Als sehr dauerhaft, während Fichte als wenig dauerhaft eingestuft wird. Wird chemischer Holzschutz angewandt, richten sich die empfohlenen Massnahmen nach der Wirksamkeit und der Eindringtiefe. Die Übersicht zu den Anwendungsempfehlungen zeigt Abbildung 2. Hervorgehoben sind die für dieses Projekt relevanten Gebrauchsklassen sowie die Spalte zum chemischen Holzschutz. Die Wirksamkeit gibt an, ob und welcher chemische Schutz gegen Pilze und/oder Insekten empfohlen wird, abhängig von der Gebrauchsklasse. Die Eindringtiefe korrespondiert mit der Wirksamkeit des chemischen Holzschutzes. Geringere Eindringtiefen werden durch Verfahren wie Streichen, Rollen, Spritzen oder Tränkung erreicht. Höhere Eindringtiefen durch Druckverfahren wie Kessel- oder Wechseldruckimprägnierung. Eine höhere Eindringtiefe resultiert immer auch in einer höheren Dauerhaftigkeitsklasse des Holzes und wird somit in höheren Gebrauchsklassen empfohlen, wenn das Holz dauerhaft beständig gegenüber Witterungseinflüssen sein soll.

Gebrauchsklassen (GK) nach SN EN 335:2013				Anwendungsempfehlungen					
GK	Allgemeine Gebrauchssituation	Holzfeuchte ¹⁾	Mögliches Auftreten von Schadorganismen ²⁾		Ohne chemischen Holzschutz ⁴⁾	Mit chemischem Holzschutz ⁶⁾⁹⁾ , Massnahmen gemäss Risikobewertung (Ziffer 3.3.2)			
						Schwächere Massnahmen bei geringen Risiken, z. B. bei nicht tragenden Hölzern		Stärkere Massnahmen bei erhöhten Risiken, z. B. bei tragenden Hölzern	
					Natürliche Dauerhaftigkeit (DC) der Holzart gegenüber Pilzen ⁷⁾ nach SN EN 350:2016	Empfohlene Wirksamkeit	Eindringtiefeklasse (NP) nach EN 351-1:2007	Empfohlene Wirksamkeit	Eindringtiefeklasse(NP) nach EN 351-1:2007
						Kurzzeichen des Wirkspektrums	Schnittholz z. B. aus Fichte/Tanne	Rundholz z. B. aus Fichte/Tanne	Kurzzeichen des Wirkspektrums
	Innenbereich, trocken	trocken, ständig unter 20%	- selten holzerstörende Insekten		1, 2, 3, 4, 5	evtl. Iv ¹¹⁾	NP1	NP1	¹⁰⁾
	Innenbereich ³⁾ oder unter Dach, nicht der Witterung ausgesetzt. Möglichkeit der Kondensation	gelegentlich über 20%	- wie Gebrauchsklasse 1 - holzverfärbende Pilze		1, 2, 3, (4), [5]	evtl. Iv ¹¹⁾ , evtl. B, falls im Aussenbereich	NP1	NP1	P, Iv, evtl. B NP1
	Aussenbereich, ohne Erdkontakt, der Witterung ausgesetzt	eingeschränkt feuchte Bedingungen ⁴⁾	gelegentlich bis häufig über 20% - wie Gebrauchsklasse 2 - holzerstörende Pilze (Braun-/Weissfäule)		1, 2, (3), [4], [5]	P, Iv, evtl. B	NP1	NP 3	P, Iv, W, evtl. B NP5 evtl. NP3
		anhaltend feuchte Bedingungen ⁵⁾			1, 2, [3], [4]	P, Iv, W, evtl. B	NP2	NP 3	P, Iv, W, evtl. B NP5 evtl. NP3
	Aussenbereich, in Kontakt mit Erde oder Süsswasser	ständig über 20%	- wie Gebrauchsklasse 3 - holzerstörende Pilze (Moderfäule) und Bakterien		1, [2], [3] D	P, Iv, W, E	NP3	NP 3	P, Iv, W, E NP6 bzw. bei Rundholz NP5 evtl. NP4
	Dauerhaft oder regelmässig in Salzwasser eingetaucht	ständig über 20%	- wie Gebrauchsklasse 4 - holzerstörende Organismen im Meer		1, (2)	P, Iv, W, E + gegen holzerstörende Organismen im Meer		NP5 (gilt nur für Rundhölzer mit 40mm Splintholz)	

⁴⁾ Dauerhaftigkeit gegen Pilze: 1 = sehr dauerhaft, 2 = dauerhaft, 3 = mässig dauerhaft, 4 = wenig dauerhaft, 5 = nicht dauerhaft. Der Splintanteil aller Holzarten fällt in Klasse 5.

Relevante Abkürzungen:

B Geeignet als Vorbeugung gegen Bläuepilze an Bauholz, wirksam gegen Verblauung an verarbeitetem Holz,

P wirkt vorbeugend gegen holzerstörende Pilze auf Bauholz

Iv Schutzmittel mit vorbeugender Wirkung gegen Insekten in Bauholz

W Geeignet für Bauholz, das dauernd der Witterung ausgesetzt ist, jedoch nicht in ständigem Erd- oder Wasserkontakt steht.

NP1 keine Anforderungen an Eindringtiefe vom HSM

NP3 Eindringtiefe mindestens 6 mm seitlich im Splintholz. Das Splintholz ist die äussere (jüngere), aktivere Zone eines Baumes

Abbildung 2: Empfohlene Massnahmen im Holzbau gemäss Lignum.

2.3 Oberflächenbehandlungen

Holzanstriche wie Pflegemittel, Lacke und Lasuren, welche keine Funktion als Holzschutzmittel erfüllen, können biozide Wirkstoffe aus PA 6 und 7 enthalten. Je nach Verwendungszweck und Einsatzkonzentration ist eine Deklaration als behandelte Ware ausreichend. Behandelte Waren müssen in folgenden Fällen gekennzeichnet sein (Hauzenberger et al., 2020):

- Wenn bei einer behandelten Ware, die ein Biozidprodukt enthält, Angaben zu deren bioziden Eigenschaften gemacht werden. Bspw. «Wirksam gegen Algen und Pilze»
- wenn die Bedingungen der Genehmigung des eingesetzten Wirkstoffs dies erfordern

Anstrichmittel werden oft verwendet, um das Holz vor Feuchtigkeit oder UV-Strahlen zu schützen, aber auch, um optische bzw. ästhetische Merkmale des Holzes zu erhalten oder bewahren (Vorvergrauungslasuren). Sofern die Produkte nicht biozidfrei hergestellt werden, unterscheiden sie sich im Wesentlichen nur von den Holzschutzmitteln, als dass sie keine Insektizide beinhalten.

2.4 Anwendung

Auf den zu schützenden Holzbauteilen kommen Holzschutz- und Anstrichmittel in unterschiedlichen Anwendungstechniken zum Einsatz. Die meisten Produkte werden gestrichen oder gespritzt auf dem Holz appliziert.

Um die Wetterbeständigkeit des Holzes zu erhöhen, empfehlen die Hersteller die Vorbereitung des Untergrundes mit einer Grundierung. Diese wirkt zum einen als Haftvermittler für die folgende Beschichtung (Lasuren, Lacke, ...). Zum anderen sind in der Grundierung meist auch die Biozide für den Holzschutz enthalten (PA 8). Der Deckanstrich kann ebenfalls Biozide als Filmschutz enthalten (PA 7). Wird der Deckanstrich jedoch ohne Filmschutzmittel gewählt, kann dieser als Barriere für die Freisetzung der Wirkstoffe aus der Grundierung wirken (Top-Coat).

Holzbeschichtungen können auch direkt auf das angeschliffene Holz aufgebracht werden, was beispielsweise bei Vorvergrauungslasuren der Fall ist. Hierbei sind (sofern eingesetzt) die Biozide ebenfalls direkt der Witterung ausgesetzt.

2.5 Eingesetzte Wirkstoffe

Um eine Übersicht der eingesetzten Wirkstoffe in Holzanstrichen zu erhalten, wurden unterschiedliche Quellen beigezogen.

So wurden (Schweizer) Hersteller von Holzfarben (Lasuren, Lacke) und Holzimprägnierungen kontaktiert und nach ihren wichtigsten Produkten und Wirkstoffen befragt.

Die Umfrage hatte zum Ziel, eine Marktübersicht der gängigsten Produkte und eingesetzten Wirkstoffe zu bekommen. Ebenfalls sollten die Verbreitungshäufigkeit der verschiedenen Wirkstoffe in den Produkten ermittelt und so deren Relevanz in Holzfarben und -imprägnierungen abgeschätzt werden. Die genannten Produkte der Hersteller umfassten sowohl behandelte Waren wie auch Holzschutzmittel. Wie die Umfrage zeigte, werden gemäss Hersteller in den meisten Produkten schnell abbaubare Fungizide eingesetzt. Hierbei wurde IPBC am häufigsten genannt, gefolgt von OIT/DCOIT und Propiconazol. Vereinzelt eingesetzt werden Diuron und Zinkpyrithion. Als Insektizid wurde einzig Permethrin erwähnt.

Zusätzlich wurde das schweizerische Holzschutzmittelverzeichnis CH-HSMVZ nach Produkten und Inhaltsstoffen gesichtet (Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, 2018). Für das Jahr 2021 (Stand 16.04.) waren 114 Holzschutzmittel eingetragen, welche 21 verschiedene Wirkstoffe enthielten (Abbildung 3). Eine vergleichbare Auswertung von 2013 mit 168 Holzschutzmitteln sowie ebenfalls 21 Wirkstoffen zeigt (Dietschweiler et al., 2013), dass die wichtigsten Wirkstoffe bis heute IPBC, Propiconazol und Permethrin sind, wobei für alle drei Wirkstoffe eine relative Zunahme der Wirkstoffnennungen zu verzeichnen ist.

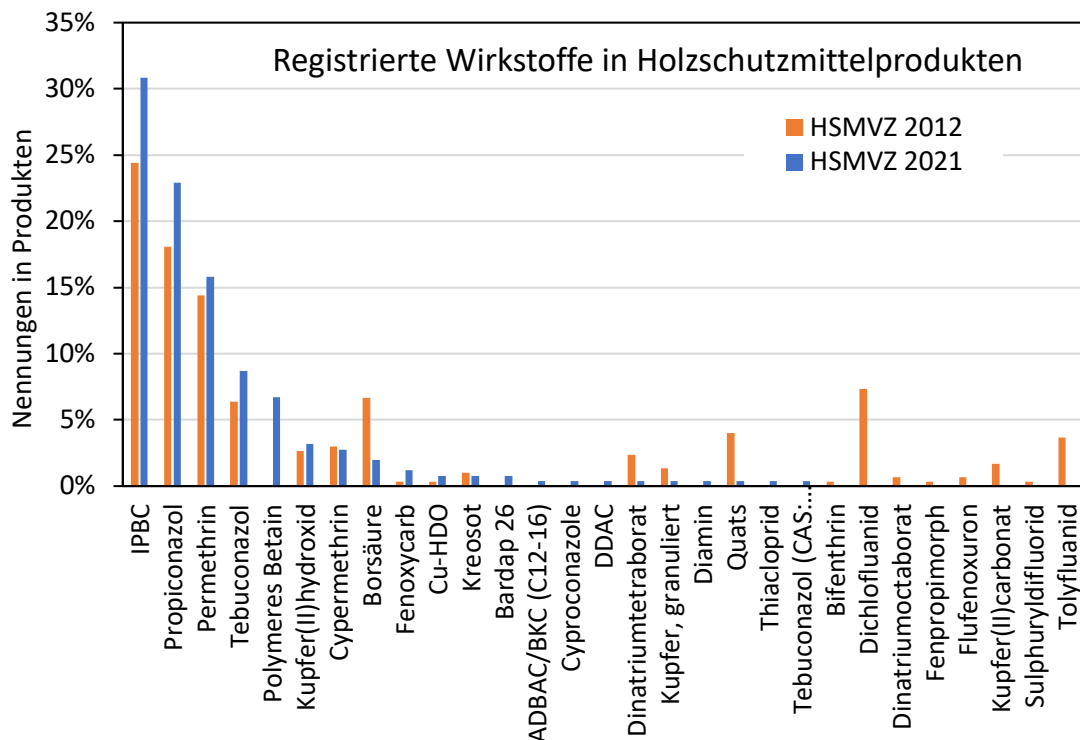


Abbildung 3: Vergleich der registrierten Wirkstoffe im schweizerischen Holzschutzmittelverzeichnis 2012 und 2021

Gewisse Stoffe wie Borsäure, Dichlofluanid und Tolyfluanid werden heute nicht mehr eingesetzt. Die Zunahme bei quartären Ammoniumverbindungen (Quats) ist schwer zu interpretieren, weil bei (Dietschweiler et al., 2013) alle Quats zusammengezählt wurden.

Eine Besonderheit ist für zwei Kupferverbindungen zu beobachten. Während bei (Dietschweiler et al., 2013) Kupfer(II)hydroxid und Kupfer(II)carbonat als eigene Substanzen gelistet wurden, ist im aktuellen Holzschutzmittelverzeichnis Kupfer(II)-carbonat-Kupfer(II)hydroxid (1:1) als Substanz aufgeführt (Abbildung 3).

Eine Studie des Umweltbundesamts in Österreich (Hauzenberger et al., 2020) kommt zu ähnlichen Resultaten. So enthielten die meisten der 632 in Österreich zugelassenen Holzschutzmittel IPBC als alleinigen Wirkstoff (63 %) oder IPBC in Kombination mit Propiconazol (26 %). Das am häufigsten eingesetzte Insektizid war ebenfalls Permethrin.

Interessant ist, dass bei Holzschutzmitteln die Isothiazolinone (OIT/DCOIT) nicht eingesetzt werden, obwohl diese Wirkstoffe eine Zulassung für PA 8-Produkte besitzen, hingegen in anderen Holzbeschichtungen sehr weit verbreitet sind.

3. Auswaschversuche

3.1 Auswahl der Produkte

Die Auswahl von geeigneten Produkten für die Auswaschversuche erfolgte in Zusammenarbeit mit den Herstellern. Anhand der Produktinformationen wurden sieben Holzanstriche und ein Produkt zur Holzimprägnierung für die Laborversuche ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die Produkte bezüglich Anwendungszweck und Wirkstoffe möglichst ergänzen. Es sollte eine breite Produktpalette im Laborversuch untersucht werden, damit das resultierende Bewertungskonzept möglichst breit abgestützt ist.

Da nicht spezifische Produkte zu bewerten waren, sondern ein allgemeines Bewertungskonzept entwickelt werden sollte, wurden die Produkte und Ergebnisse anonymisiert (Tabelle 1). Die Produktliste beinhaltet sowohl behandelte Waren als auch Holzschutzmittel. Ebenfalls wurden zweischichtig Systembeschichtungen ausgewählt, die aus einer biozidhaltigen Grundierung und einer Deckschicht mit oder ohne filmschützenden Wirkstoffen. Unter den einschichtig aufgetragenen Lasuren war auch eine Vorvergrauungslasur. Der Aufbau bzw. der Verwendungszweck der Produkte ist auch in Tabelle 1 beschrieben. In rot markiert sind Wirkstoffe, die nicht chemisch analysiert wurden (siehe 3.2).

Als Vergleich wurde ein druckimprägniertes Holzschutzmittel in die Produktliste aufgenommen. Dieses unterscheidet sich im Aufbringungsverfahren von den anderen Produkten, was sich durch eine grössere Eindringtiefe des Holzschutzmittels und damit auch der eingebrachten Wirkstoffmenge bemerkbar macht. Die Druckimprägnierung wird nur für die höchsten Gebrauchsklassen empfohlen, weshalb andere Wirkstoffe und -mengen vorkommen. Irrtümlicherweise hatte der Hersteller die Druckimprägnierung noch mit dem Decklack DL1 beschichtet.

Die Wirkstoffe und deren Einsatzmengen waren für alle Produkte bekannt, damit die Freisetzungen berechnet werden konnten.

Wie Tabelle 1 zeigt, wird das Fungizid IPBC in allen Produkten mit Ausnahme der Druckimprägnierung eingesetzt. IPBC wird in fast allen mehrschichtig aufgebauten Produkten sowohl in der Grundierung wie auch in der Deckschicht eingesetzt. Einzig das Produkt G/L3 enthält kein IPBC in der Deckschicht, sondern nur Biozide, die zur Konservierung des Produkts während der Lagerung eingesetzt werden.

In den mehrschichtigen Produkten werden in die Grundierung zusätzliche Fungizide aus der Gruppe der Azole beigemischt.

In den einschichtig aufgebauten Lasuren (Holzfarben) werden neben IPBC weitere Fungizide wie OIT oder Pyridin-2-thiol-1-oxid eingesetzt. In LA1 und DL1 wird neben Fungiziden zusätzlich noch das Biozid Diuron eingesetzt.

Tabelle 1: Übersicht der Produktauswahl für die Laborversuche.

Abkürzung	Produkt	Biozide	Klassierung
LA1 (einschichtig)	Lasur	Diuron, IPBC, OIT, MIT, Pyridin-2-thiol-1-oxid	Behandelte Ware
LA2 (einschichtig)	Lasur	IPBC, OIT, MIT, BIT	Behandelte Ware
DL1 (einschichtig)	Decklack	Diuron, IPBC, OIT, Pyridin-2-thiol-1-oxid	Behandelte Ware
DI1 (zweischichtig)	Druckimprägnierung	Didecylpolyoxethylammoniumborat, Cyproconazol, Thiacloprid	Holzschutzmittel
	Decklack	Diuron, IPBC, OIT, Pyridin-2-thiol-1-oxid	Behandelte Ware
G/L1 (zweischichtig)	Grundierung	IPBC, Tebuconazol, Permethrin	Holzschutzmittel
	Lasur	IPBC	Behandelte Ware
G/L2 (zweischichtig)	Grundierung	IPBC, Tebuconazol, Permethrin, Polymeres Betain	Holzschutzmittel
	Lasur	IPBC	Behandelte Ware
G/L3 (zweischichtig)	Grundierung	G: Propiconazol, IBPC, BIT	Holzschutzmittel
	Lasur	D: MIT, BIT, BIT/MIT	Behandelte Ware

Rot = Enthalten, aber nicht analysiert

3.2 Durchführung

Um die Auswaschversuche mit den ausgewählten Produkten durchführen zu können, wurden die Beschichtungen auf Prüfkörper aus Holz aufgebracht. Dafür wurden Musterplatten aus Weisstanne (bandgesägt) beschafft. Weisstanne ist zusammen mit Fichte das am häufigsten eingesetzte Holz für Aussenfassaden. Das Holz für sämtliche Prüfkörper (Ausnahme: Druckimprägnierung) stammte aus der gleichen Charge, sodass die Grundlagen gleich sind.

Die Beschichtung der Prüfkörper wurde mit Ausnahme der druckimprägnierten Beschichtung durch Streichen durchgeführt (Abbildung 4). Die aufgetragene Grundierungs- und Anstrichmengen wurden für jede Schicht durch Wägen (Genauigkeit 0.1 g) erfasst (siehe A.1 Tabelle 15). Die aufgetragenen Mengen richteten sich nach den Technischen Produktdatenblättern. Aus der Einsatzkonzentration der Wirkstoffe und der aufgetragenen Produktmenge lassen sich die Flächenkonzentrationen (mg/m²) berechnen.

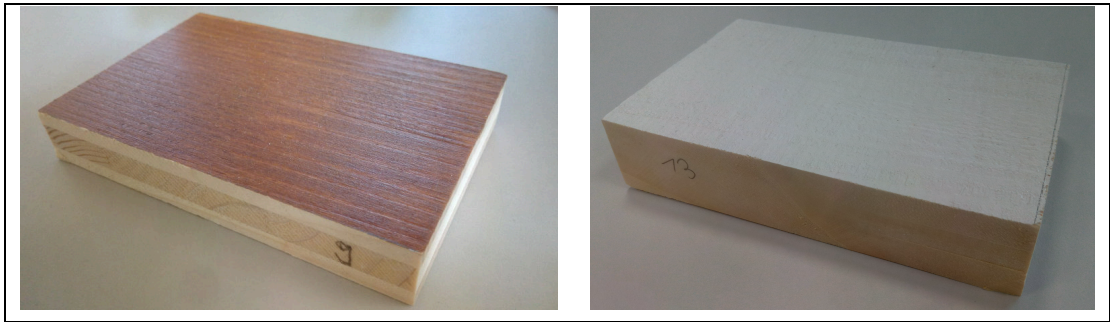


Abbildung 4: Links: Beschichteter Prüfkörper (Weisstanne). Rechts: Druckimprägnierter Prüfkörper.

Die Auswaschversuche wurden gemäss "Laborverfahren zur Bestimmung der Freisetzung von Substanzen aus Beschichtungen in intermittierendem Kontakt mit Wasser" (SN EN 16105:2011; Immersionstest) durchgeführt. Da im vorhergehenden Projekt bereits der EN 162105 mit Putzen und Farben durchgeführt wurde (Burkhardt et al., 2021b), sollte aus Konsistenzgründen erneut dieser verwendet werden. Damit sind die Ergebnisse der Holzprodukte auch über die Produktgruppe hinweg vergleichbar. Ebenfalls sind die Resultate der Laborversuche geeignet für die folgenden Langzeitmodellierungen.

Der Ablauf stimmt im Wesentlichen mit dem Expositionsszenario 2 (2 x 1 Stunde) des («CEN/TS 15119», n. d.) überein. Beide Tests betrachten 9 Zyklen mit den gleichen Wasserkontaktzeiten. Auf eine Abdichtung der Hirnflächen wurde verzichtet. Der Prüfkörper repräsentiert also ein offen verbautes Produkt, was hinsichtlich der Stofffreisetzung als der kritischere Fall betrachtet wird.

Ein Test gemäss SN EN 113-1:2020 wurde nicht durchgeführt, weil bei diesem nur der Masseverlust gemessen wird. Für die Umweltbewertung werden aber Wirkstoffemissionen (mg/m^2) benötigt.

Im Immersionstest dauert jeder der 9 Zyklen sechs Stunden und diese umfassen 1 h Wasserkontakt (Kurzzeittauchen), 4 h Trocknung und erneut 1 h Wasserkontakt (Abbildung 5). Nach jedem Kurzzeittauchen wird das Wasser erneuert. Die Eluate aus dem ersten und zweiten Kurzzeittauchen jedes Zyklus werden vereint und chemisch analysiert. Zwischen den Zyklen findet eine Trocknungsphase von mind. 24 h statt. Die spezifische Wassermenge pro Kurzzeittauchgang beträgt $25 \text{ L}/\text{m}^2$, was pro Zyklus eine spezifische Wassermenge von $50 \text{ L}/\text{m}^2$ und über den Gesamtversuch eine Wassermenge von $450 \text{ L}/\text{m}^2$ ergibt.

Die aufgenommene Wassermenge zwischen den Kurzzeittauchen und den Zyklen wurde gravimetrisch erfasst.

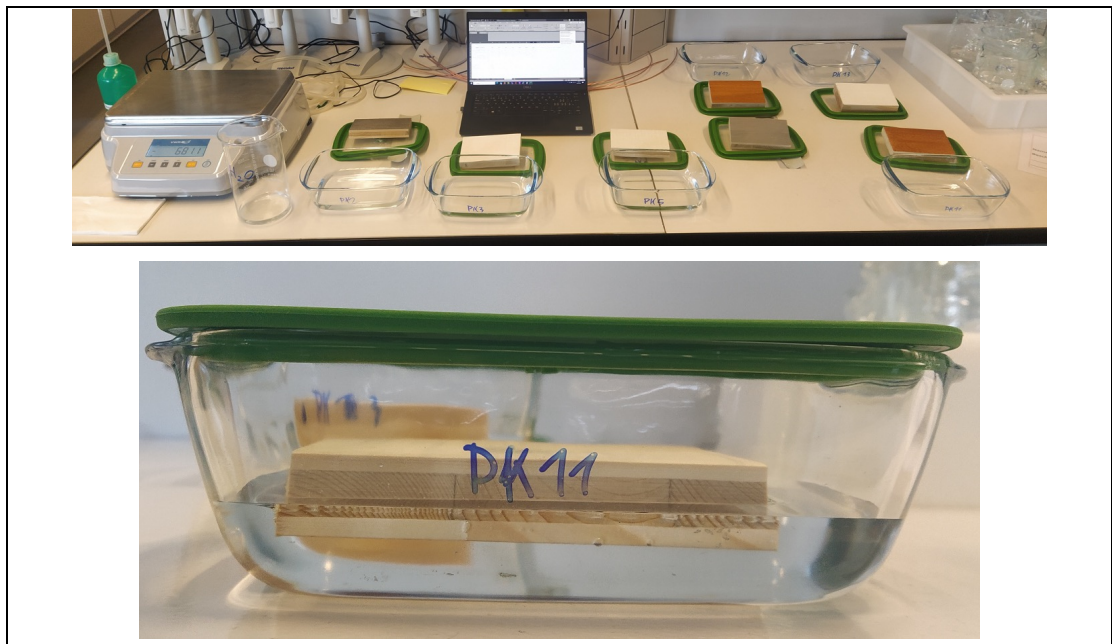


Abbildung 5: Oben: Prüfkörper während Trocknungsphase zwischen zwei Kurzeintauchzyklen. Unten: Prüfkörper im einstündigen Wasserkontakt.

Analysierte Parameter

Für jeden Prüfkörper wurde das vereinigte Eluat von jedem Zyklus untersucht. Gemessen wurden pH-Wert und Leitfähigkeit direkt nach der Vereinigung der Eluate. In den Eluate wurden weiter die Konzentrationen von folgenden den Bioziden gemäss Tabelle 2 bestimmt. Die Analytik der Biozide wurde mittels Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (LC MS/MS) durchgeführt.

Tabelle 2: Analysierte Biozide.

Biozid	CAS-Nummer
Cyproconazol	94361-06-5
Diuron	330-54-1
Propiconazol	60207-90-1
Tebuconazol	107534-96-3
Thiacloprid	111988-49-9
Permethrin	52645-53-1
OIT	26530-20-1
DCOIT	64359-81-5
IPBC	55406-53-6

3.3 Resultate

Die ausgewaschenen Stoffe und Emissionen variieren deutlich. So wurde beispielsweise für Produkt LA2 über 9 Zyklen kumuliert 3 mg/m² IPBC, 11 mg/m² OIT und 0.15

mg/m² DCOIT nachgewiesen (Anhang A.1). Demgegenüber steht Beschichtung G/L3, welches mit 305 mg/m² IPBC und 449 mg/m² Propiconazol bedeutend höhere Stofffrachten freisetzte.

Generell korrelieren die gemessenen Emissionen mit der Ausgangskonzentration (c_0) der Wirkstoffe. Je höher die Ausgangskonzentration ist, desto mehr der Substanz wird auch freigesetzt. Jedoch ist die Ausgangskonzentration nicht allein entscheidend für die freigesetzte Menge, wie der Vergleich der IPBC-Emissionen zeigt (Abbildung 6). So gilt $c_0 \text{ (G/L1)} > c_0 \text{ GL/3}$, dennoch setzt G/L3 mit 305 mg/m² mehr IPBC frei als GL/1 mit 170 mg/m². Beide Produkte setzten wiederum weniger frei als das Produkt G/L2, welches das mit Abstand grösste c_0 aufweist (2 x höher als G/L1, 3 x höher als G/L3). Ein Grund für die Unterschiede dürften die Art der Bindemittel und die Wirkstoffeigenschaften sein.

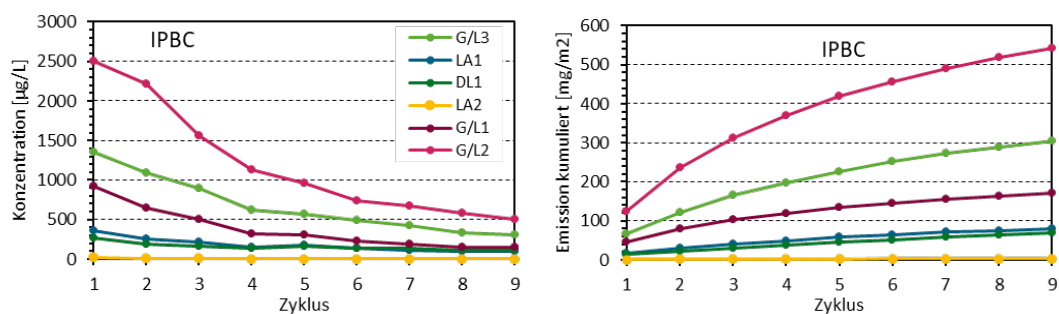


Abbildung 6: Resultierende Konzentrationen (links) und kumulierte Emissionen (rechts) von IPBC aus den getesteten Produkten im Auswaschversuch.

In drei der untersuchten Produkte wurde Diuron nachgewiesen. Die nahezu identischen Kurvenverläufe von DI1/DL1 im Vergleich zu DL1 beruhen darauf, dass dies die gleichen Decklacke sind. Deshalb sind auch die Emissionsverläufe von OIT und IBPC für beide Prüfkörper gleich. Die vollständigen Emissionen des Produkts DI1/DL1 (also inkl. Beschichtung) sind im Anhang 0 aufgeführt.

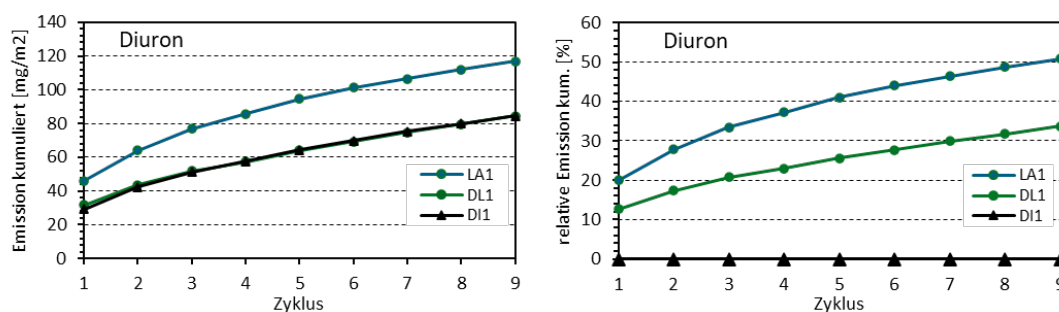


Abbildung 7: Resultierende spezifische Emissionen (links) relative Emissionen (rechts) von Diuron aus den Produkten LA1, DL2 und DI1.

Wie auch bei den einschichtigen Beschichtungen sind bei zweischichtigen Systemen (Grundierung + Beschichtung) sowie der Druckimprägnierung die eingesetzten Azole und IPBC in unterschiedlichen Mengen ausgewaschen worden (Abbildung 8, Tabelle 1), die mit den Einsatzmengen massgeblich zusammenhängen, aber nicht alleinentscheidend sind. So wird aus G/L3 ca. 450 mg/m² Propiconazol freigesetzt, was der rund 20-fachen Menge von 27 mg/m² Tebuconazol aus G/L1 entspricht. Die Einsatzkonzentration von Propiconazol (G/L3) lag jedoch nur 10-fach über derjenigen von

Tebuconazol (G/L1). Vergleicht man die Wasserlöslichkeiten beider Substanzen, so ist die von Propiconazol (100 mg/L (Finland, 2015)) rund 3-mal höher als von Tebuconazol (36 mg/L (National Library of Medicine, 2023)).

Die Emissionen von G/L1 und G/L2 unterstreichen die Bedeutung der Gesamtrezepturen auf die Auswaschung: G/L2 (wasserbasiert) emittiert die vierfache Menge von Tebuconazol als G/L1 (lösemittelbasiert), obwohl die Einsatzmenge nur doppelt so hoch ist. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass sich mit einer wasserbasierten Formulierung andere ökologische Vorteile verbinden als mit lösemittelbasierten Produkten.

Beim druckimprägnierten Aufbau DI1/DL1 zeigt sich ein anderes Freisetzungsmuster als bei gestrichenen zweischichtigen Systemen. Die Einsatzkonzentration von Cyproconazol lag nochmals höher als diejenige von G/L3, und dennoch werden nur 14 mg/m² freigesetzt. Da die Druckimprägnierung zusätzlich noch mit dem Decklack DL1 beschichtet wurde, lässt sich nicht sagen, inwiefern die Freisetzung von der Druckimprägnierung zusätzlich beeinflusst wurde. Der fast lineare Emissionsverlauf von Cyproconazol lässt jedoch darauf schliessen, dass stets mit der gleichen Rate emittiert wird. Somit könnte der Decklack eine wirksamere Sperre darstellen als die Lasur, welche auf G/L3 aufgebracht wurde. Sehr viel wahrscheinlicher ist aber, dass durch die Druckimprägnierung die Wirkstoffe tiefer in das Holz eingebracht werden und dadurch langsamer emittieren.

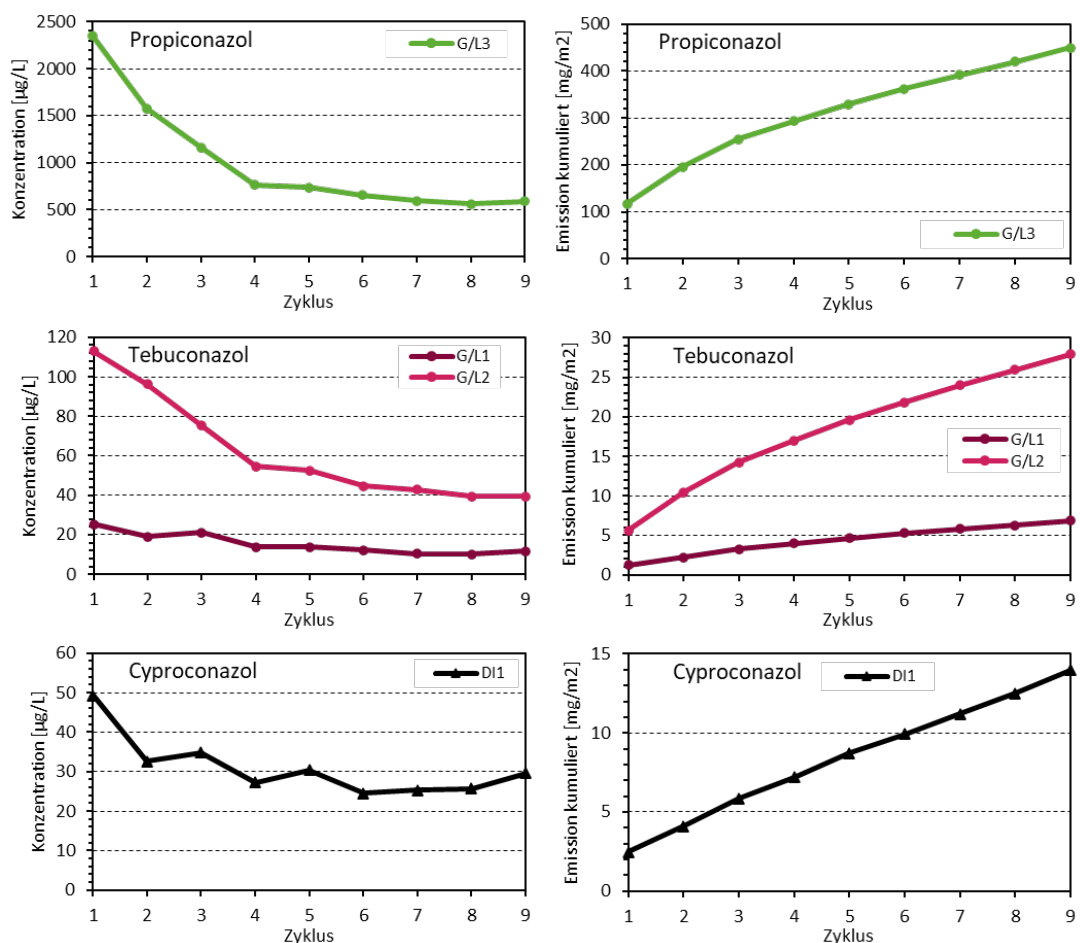


Abbildung 8: Konzentration (links) und kumulierte Emission (rechts) von Propiconazol (oben), Tebuconazol (Mitte) und Cyproconazol (unten) der untersuchten Produkte im Auswaschversuch.

Die Verläufe der elektrischen Leitfähigkeiten unterscheiden sich nicht (Abbildung 9 links) und schwanken zu Beginn zwischen 15 und 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und sinken auf 5 bis 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ab.

Die pH-Werte liegen in allen Proben zwischen pH 5 und 5.5, wobei einige Produkte im ersten Zyklus höhere pH-Werte aufweisen (6 - 7).

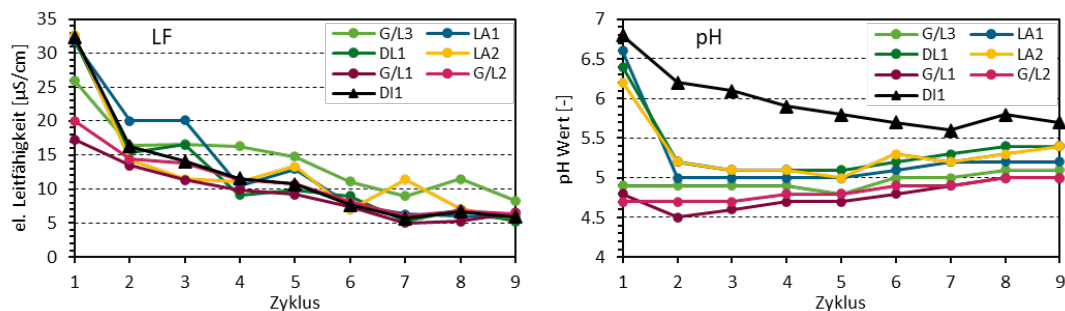


Abbildung 9: Elektrische Leitfähigkeit (links) und pH-Wert (rechts) der untersuchten Produkte im Auswaschversuch.

3.4 Bestimmung PT-Faktor zur Festlegung der relevanten Stoffe

Die untersuchten Produkte enthalten zwischen ein bis fünf verschiedene Biozide. Alle diese Bestandteile können grundsätzlich zu gewässergefährdenden Emissionen führen und müssen in Laboruntersuchungen und Modellberechnungen separat ausgewertet werden.

Einige Wirkstoffe werden in Oberflächengewässern so rasch abgebaut, dass sie analytisch kaum nachweisbar sind. Sie gelten als wenig persistent. Das Abbauverhalten wird mit der Halbwertszeit beschrieben (DT_{50}). Zudem gibt es grosse Unterschiede in der Giftigkeit (Toxizität) der Biozide in Gewässern. Weil Laboranalysen aufwändig sind, macht es Sinn, die Anzahl Laborversuche auf die relevanten Biozide in einem Produkt zu reduzieren.

Dazu werden die deklarierten Biozide eines Produkts mit einem eigens dafür entwickelten "Persistenz-Toxizität"-Faktor (PT-Faktor) bewertet. Dieser Faktor liefert eine grobe Abschätzung der zu erwartenden Umweltwirkung, die ein in einer Farbe enthaltenes Biozid auslösen könnte. Je grösser der PT-Faktor wird, desto wahrscheinlicher ist eine negative Umweltwirkung des betrachteten Biozids. Die Emissionen der Biozide mit den grössten PT-Faktoren sollen dann im Laborversuch gemessen werden.

In einem ersten Schritt bewertet der PT-Faktor die Persistenz sowie die Toxizität von jedem Biozid in einem Produkt und berechnet sich gemäss Formel 1. Falls der DT_{50} eines Wirkstoffs nicht bekannt ist, kann der Faktor nicht berechnet werden.

Formel 1: Berechnung des PT-Faktors.

$$\text{PT - Faktor} = \frac{M \times DT_{50}}{QK}$$

M: Applizierte Menge des umweltrelevanten Bestandteils [$\mu\text{g}/\text{m}^2$]

DT₅₀: Halbwertszeit (dissipation time) [Tage]

QK: Qualitätskriterium/Beurteilungswert [µg/l]

Die Halbwertszeit (DT₅₀) misst die Anzahl Tage, bis ein Biozid zur Hälfte abgebaut ist. Da in der vorliegenden Untersuchung Emissionen in Gewässer betrachtet werden, ist der DT₅₀ im Gewässer relevant (für Gewässer-Sediment-Systeme). Es ist davon auszugehen, dass Emissionen, welche in der Umwelt rasch abgebaut werden, weniger problematisch für das Ökosystem sind. Deshalb nimmt der PT-Faktor für grössere DT₅₀ zu. Beim Qualitätskriterium handelt es sich um den Grenzwert für die Stoffkonzentration in der Umwelt, welcher gemäss Gesetzgebung oder Empfehlung nicht überschritten werden sollte. Je geringer das QK, desto toxischer ist ein Bestandteil in der Umwelt und desto grösser ist der entsprechende PT-Faktor. Die Einheit des PT-Faktors ist [Tage*l/m²].

In einem zweiten Schritt wird für ein Produkt die Summe der ermittelten PT-Faktoren für die enthaltenen Bestandteile ermittelt, die während der Nutzungsphase emittiert werden können. In den Laboruntersuchungen und Modellberechnungen werden dann jene Bestandteile des Produkts berücksichtigt, welche an der Summe die grössten Anteile haben.

Dieses Konzept für die Auswahl der zu untersuchenden Biozide wurde auf die sechs verschiedenen Anstriche und die Druckimprägnierung angewendet. Zur Berechnung der stoffspezifischen PT-Faktoren wurden die Halbwertszeiten und Qualitätskriterien in Tabelle 3 verwendet. Es handelt sich dabei einerseits um einen Grenzwert für die chronische Toxizität (CQK: Chronisches Qualitätskriterium). Andererseits wurde auch die akute Toxizität der untersuchten bioziden Wirkstoffe berücksichtigt (AQK: Akutes Qualitätskriterium).

Tabelle 3: Halbwertszeiten und Qualitätskriterien für Biozide in den untersuchten Produkten. n.v. Werte nicht verfügbar. Quelle DT₅₀ jeweils ECHA.

Wirkstoffe	DT ₅₀ [Tage]	CQK [µg/l]	AQK [µg/l]	Quelle
Cyproconazol	kein Abbau im Wasser über Versuchsdauer	0.1	0.1	GSchV
Diuron	48-232	0.07	0.25	GSchV
Propiconazol	6.4	0.1	0.1	GSchV
Tebuconazol	198	0.1	0.1	GSchV
Thiacloprid	31	0.01	0.08	GSchV
Permethrin	3	0.00027	0.0025	(European Commission, 2022)
OIT	1.1 - 2.3	0.1	0.1	GSchV
DCOIT	0.17 - 1.6	0.1	0.1	GSchV
MIT	0.46 - 2.2	0.1	0.1	GSchV
BIT	< 1.0	0.1	0.1	GSchV
IPBC	<1	0.1	0.1	GSchV

Wirkstoffe	DT ₅₀ [Tage]	CQK [µg/l]	AQK [µg/l]	Quelle
Pyridin-2-thiol-1-oxid	kein Abbau im Wasser über Ver- suchsdauer	0.1.	0.1 2.6 (NOEC Fische) 80 (NOEC Al- gen)	ECHA
Polymeres Betain		0.1	0.1 540 (NOEC Fische) 60 (NOEC Daphnien)	Härter et al. 2008, 2009
CQK, bzw. AQK von 0.1 µl mit Quelle GSchV: für diese Substanzen existiert kein stoffspezifischer Grenzwert in der GSchV, weshalb der Vorsorgewert eingesetzt wird. Falls ein Qualitätskriterium existiert, liegt es über dem Vorsorgewert der GSchV von 0.1 µg/l				

Als Quelle für DT₅₀ wurden Informationen aus der REACH-Zulassung und den Zulassungsdossiers der Biozide hinzugezogen. Grundsätzlich wird der DT₅₀ für Oberflächengewässer verwendet. Wenn für die Halbwertszeit eine Spannbreite angegeben ist, wurde der höchste Wert berücksichtigt (Kapitel 5.3).

Für die Wirkstoffe Cyproconazol, Pyridin-2-thiol-1-oxid (Natriumpyrithion) und polymeres Betain konnten keine DT₅₀ ermittelt werden. Für Pyridin-2-thiol-1-oxid und polymeres Betain wurden auch kein Qualitätskriterien für die chronische und akute Toxizität gefunden, jedoch Angaben zum NOEC (No Observed Effect Concentration). Für die Berechnung des PT-Faktors wurde deshalb der Vorsorgewert der GSchV von 0.1 µg/l eingesetzt.

Die berechneten PT-Faktoren für die Wirkstoffe in den untersuchten Produkten sind in Tabelle 4 und Tabelle 5 aufgeführt. Der PT-Faktor kann mit dem chronischen Qualitätskriterium oder dem akuten Qualitätskriterium berechnet werden. Die Prozentangaben beziehen sich auf den Anteil des PT-Faktors eines Wirkstoffs an der Summe aller PT-Faktoren der Biozide in einem Produkt. Wenn kein DT₅₀-Wert für einen Wirkstoff bekannt ist, kann sein PT-Faktor nicht berechnet werden.

PT-Faktoren wurden nicht für die Wirkstoffe MIT und BIT beigezogen, da sie nicht dem Filmschutz der Produkte dienen. Die Konzentration als Topfkonserverer sind deshalb deutlich geringer. Ebenso handelt es sich bei den eingesetzten Isothiazolinonen (MIT und BIT) um Verbindungen, die in der Umwelt rasch abgebaut werden.

Die Rangfolge der PT-Faktoren bleibt bei der Berücksichtigung des chronischen oder akuten Qualitätskriteriums für alle Produkte dieselbe. Für acht der elf betrachteten Wirkstoffe wurde der allgemeine Anforderungswert für Biozidprodukte aus der Gewässerschutzverordnung von 0.1 µg/l sowohl für die chronische als auch die akute Toxizität eingesetzt. Dadurch unterscheiden sich die beiden Berechnungsweisen für diese Stoffe nicht voneinander.

Tabelle 4: Wirkstoffspezifische PT-Faktoren [Tage*I/m²] mit CQK.

Wirkstoff	LA1	G/L1	G/L2	G/L3	LA2	DL1	DI1
Diuron	7.62E+08 (99.45%)	–	–	–	–	8.29E+08 (99.47%)	–
IPBC	3.60E+06 (0.47%)	6.00E+06 (2.07%)	1.20E+07 (2.19%)	3.75E+06 (4.48%)	4.00E+04 (21.74%)	4.00E+06 (0.48%)	–
OIT	3.40E+05 (0.04%)	–	–	–	8.00E+04 (43.48%)	3.80E+05 (0.05%)	–

Wirkstoff	LA1	G/L1	G/L2	G/L3	LA2	DL1	DI1
DCOIT	–	–	–	–	6.40E+04 (34.78%)	–	–
MIT	Topfkonservierer	–	–	Topfkonservierer	Topfkonservierer	–	–
BIT	–	–	–	Topfkonservierer	Topfkonservierer	–	–
Pyridin-2-thiol-1-oxid	Nicht bestimmbar	–	–	–	–	Nicht bestimmbar	–
Tebuconazol	–	2.18E+08 (24.46%)	4.36E+08 (29.95%)	–	–	–	–
Permethrin	–	6.67E+08 (74.84%)	1.00E+09 (68.77%)	–	–	–	–
Polymeres Betain	–	–	Nicht bestimmbar	–	–	–	Nicht bestimmbar
Propioconazol	–	–	–	8.00E+07 (95.52%)	–	–	–
Cyproconazol	–	–	–	–	–	–	Nicht bestimmbar
Thiacloprid	–	–	–	–	–	–	4.40E+08 (100%)
Summe PT-Faktor	7.66E+08 (100%)	2.90E+08 (100%)	5.48E+08 (100%)	8.38E+07 (100%)	1.84E+05 (100%)	8.33E+08 (100%)	4.40E+08 (100%)

In den chemischen Analysen des Auswaschversuchs sollten jene Wirkstoffe berücksichtigt werden, welche die grössten Anteile an der Summe der PT-Faktoren haben. Ebenso sind Stoffe einzubeziehen, die in Gewässern nur langsam abbaubar sind oder für die kein DT₅₀ vorliegt.

Für die Auswahl der Biozide, die im Labor untersucht werden sollen, werden die Wirkstoffe in der Rangfolge der Anteile sortiert und so viele untersucht, bis die Summe der Anteile 90 % der Gesamtwirkung erreicht.

Tabelle 6 zeigt die Stoffe, welche gemäss der Auswertung der PT-Faktoren in Tabelle 4 und Tabelle 5 im Labor untersucht werden sollten. Ebenfalls ist angegeben, welche Biozide analytisch nachgewiesen (A).

Der Wirkstoff IPBC ist nur für Produkt LA2 relevant, weil der Anteil am PT-Faktor fast 22 % beträgt. Obwohl bei allen anderen Produkten der Anteil < 5 % liegt, wurde die Auswaschung durchgehend ermittelt. Die Emissionen von Natriumpyrithion sowie polymerem Betain konnten jedoch nicht analysiert werden, weil analytische Methoden fehlten. Für beide Biozide fehlten auch Qualitätskriterien, sodass als Hilfsgrössen NOEC-Werte beigezogen wurden (Tabelle 3). Diese liegen um mehr als ein Faktor 10 höher als die Qualitätskriterien für Biozide. Zu vermuten ist daher, dass beide Wirkstoffe weniger umweltrelevant sind als die effektiv analysierten Biozide und das PT-Bewertungskonzept ohne die beiden Wirkstoffe vollumfänglich anwendbar ist.

Tabelle 5: Wirkstoffspezifische PT-Faktoren [Tage*l/m²] mit AQK. n.a.: nicht analysiert.

Wirkstoff	LA1	G/L1	G/L2	G/L3	LA2	DL1	DI1
Diuron	2.13E+08 (98.19%)	–	–	–	–	2.32E+08 (98.15%)	–
IPBC	3.60E+06 (1.66%)	6.00E+06 (2.13%)	1.20E+07 (2.24%)	3.75E+06 (4.48%)	4.00E+04 (21.74%)	4.00E+06 (1.69%)	–

Wirkstoff	LA1	G/L1	G/L2	G/L3	LA2	DL1	DI1
OIT	3.40E+05 (0.16%)	–	–	–	8.00E+04 (43.48%)	3.80E+05 (0.16%)	–
DCOIT	–	–	–	–	6.40E+04 (34.78%)	–	–
MIT	Topfkonservierer	–	–	Topfkonservierer	Topfkonservierer	–	–
BIT	–	–	–	Topfkonservierer	Topfkonservierer	–	–
Natrium-pyrrhion	n.a.	–	–	–	–	n.a.	–
Tebuconazol	–	2.18E+08 (73.63%)	4.36E+08 (78.40%)	–	–	–	–
Permethrin	–	7.20E+07 (24.34%)	1.08E+08 (19.44%)	–	–	–	–
Polymeres Betain	–	–	n.a.	–	–	–	n.a.
Propioconazol	–	–	–	8.00E+07 (95.52%)	–	–	–
Cyproconazol	–	–	–	–	–	–	n.a.
Thiacloprid	–	–	–	–	–	–	5.50E+07 (100%)
Summe PT-Faktor	2.17E+08 (100%)	2.82E+08 (100%)	5.35E+08 (100%)	8.38E+07 (100%)	1.84E+05 (100%)	2.36E+08 (100%)	5.50E+07 (100%)

Tabelle 6: Relevanteste Biozide gemäss PT-Faktor sowie Biozide, die im Labor analysiert wurden.
X: Anteil an der Summe der PT-Faktoren von > 5%; **A:** Biozide, die in den Produkten vorhanden sind und im Labor analysiert wurden.

Wirkstoff	LA1	G/L1	G/L2	G/L3	LA2	DL1	DI1
Diuron	X, A					X, A	
IPBC	A	A	A	A	X, A		
OIT	A				X, A		
DCOIT					X, A		
MIT							
BIT							
Natriumpyrrhion	X						
Tebuconazol		X, A	X, A				
Permethrin		X, A	X, A				
Polymeres Betain			X				X
Propioconazol				X, A			
Cyproconazol							X, A
Thiacloprid							X, A

4. Modellierung der Gewässerbelastung

4.1 Einleitung

Die Auswaschung von Stoffen aus der Gebäudehülle ist mit Regen verbunden. Entsprechend zeigen sich bei Regenwetter im Siedlungsgebiet ausgeprägte Schadstoffspitzen in Fliessgewässern (Wittmer et al., 2014).

Die Software COMLEAM (COstruction Material LEAching Model, www.comleam.ch) dient dazu, die Auswaschung von potenziell umweltschädlichen Stoffen aus berechneten Gebäuden abzuschätzen. Das Ziel der Modellierung ist es, anhand von produktspezifischen Auswaschdaten die zu erwartenden Emissionen und deren Auswirkung auf urban geprägte Oberflächengewässer abzuschätzen. Für die Berechnung werden Geometriedaten der modellierten Gebäude hergeleitet und definiert. Wetter- und Umgebungsdaten aus Messungen werden beigezogen. Die Eignung von COMLEAM für die Expositionsanalyse von Bioziden im Regenwasserabfluss und in Gewässern wurde mehrfach aufgezeigt (Burkhardt et al., 2020).

4.2 Modellstruktur und Funktionsweise

COMLEAM ist geeignet, die Freisetzung von potenziell schädlichen Substanzen (Biozide, Flammschutzmittel, Weichmacher, Kunststoff-Additive, ...) aus horizontalen und vertikalen Baumaterialien, Gebäuden oder kompletten Überbauungen abzuschätzen.

Ein System aus Differentialgleichungen berechnet die Wasser- und Stoffbilanzen. Diese Bilanzen werden auf verschiedenen Ebenen berechnet, die als Schnittstellenkompartimente definiert sind (Interface Compartments, IC) (Abbildung 10). Solche Schnittstellenkompartimente existieren für jedes Bauteil. Sämtliche Bauteile eines Gebäudes ergeben die Gesamtbilanz des Gebäudes. Das abfliessende Wasser vom Gebäude wird in ein Oberflächengewässer geleitet, in welchem die Fracht und Konzentration der Stoffe über einen definierten Simulationszeitraum berechnet wird. Eine detaillierte Beschreibung der Software ist im [Handbuch](#) auf der COMLEAM Homepage (www.comleam.ch) zu finden.

COMLEAM berechnet die Emissionen anhand mehrerer "Module":

- **Wetter:** Die Ablaufwassermenge wird anhand realer Wetterdaten berechnet (stündlich gemittelte Niederschlags-, Windgeschwindigkeits- und Windrichtungswerte). Für horizontale Bauteile wird der Niederschlag berücksichtigt, für vertikale Bauteile der Schlagregen.
- **Geometrie:** Darin sind Grösse, Ausrichtung und Material der Bauteile definiert. Jedes Bauteil kann aus verschiedenen Materialien wie Glas, Holz, mineralischen Materialien, etc. bestehen. Mehrere Bauteile ergeben ein Gebäude.
- **Baumaterialien:** Für jedes Bauprodukt werden eine oder mehrere Substanzen mit ihren Anfangsgehalten und Abflussbeiwerten definiert.

- **Emission:** Eine Emissionsfunktion beschreibt die von einem Bauteil kumuliert emittierte Stoffmenge als Funktion vom Ablaufwasser. Die Emissionsfunktionen werden mit Labordaten parametrisiert.

Abgeschlossene Simulationen werden automatisiert in einen standardisierten Bericht (PDF-Format) und in einer Datei (csv-Format) bereitgestellt.

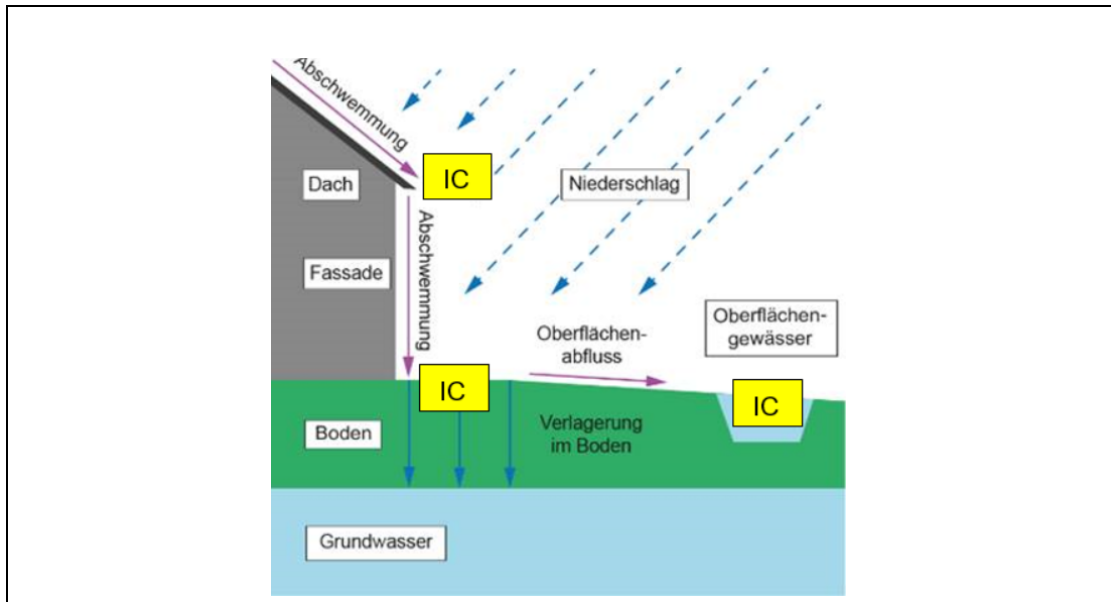


Abbildung 10: Systemgrenzen von COMLEAM.

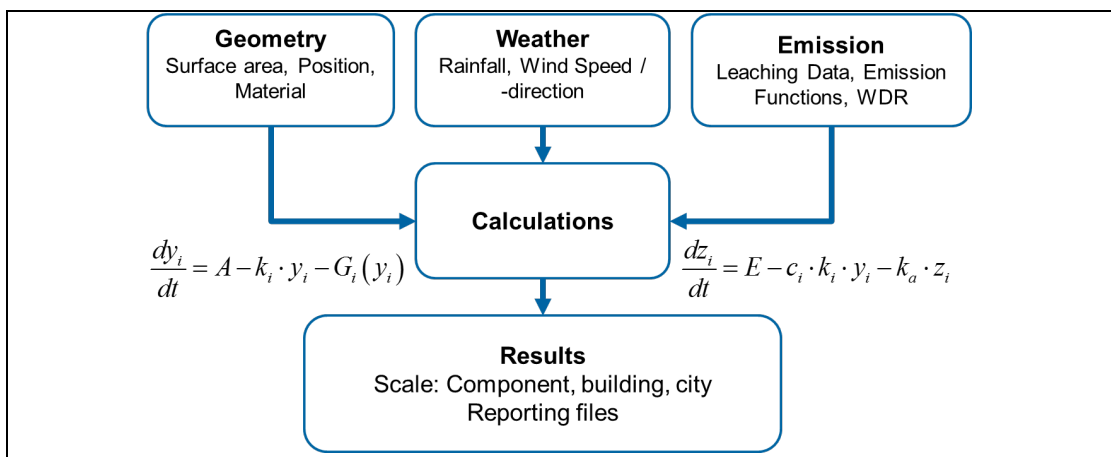


Abbildung 11: Modularer Aufbau des COMLEAM Modells.

4.2.1 Berücksichtigung der Messdaten aus den Auswaschversuchen

Anhand der ermittelten Emission aus den Auswaschversuchen (Kapitel 3) wird für jeden Wirkstoff eines Produkts eine spezifische Emissionsfunktion hergeleitet, um die Extrapolation der Daten in COMLEAM zu ermöglichen. Die Parametrisierung wird mittels nichtlinearer Regression (nls) automatisiert durch COMLEAM realisiert. Für organische Substanzen (z.B. Biozide) zeigt die logarithmische Emissionsfunktion

meistens die beste Voraussagegüte (Tietje et al., 2018). Abbildung 12 zeigt beispielhaft eine resultierende Emissionsfunktion mit den korrespondierenden Labordaten.

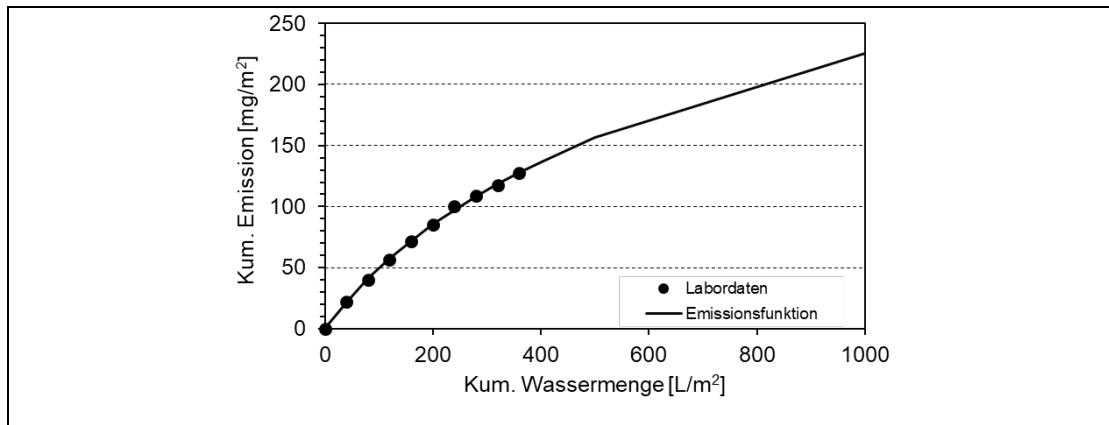


Abbildung 12: Logarithmische Emissionsfunktion (Beispiel), anhand von Labordaten parametrisiert.

4.3 Emissionsszenario

Ein Emissionsszenario stellt ein vereinfachtes Abbild der Realität dar, um die komplexen Zusammenhänge der Auswaschung mit handhabbarem Aufwand abschätzen zu können. In den Szenarien sollten vor allem die emissionsrelevanten Parameter erfasst sein, um unterschiedliche Produkte vergleichend bewerten zu können. Dazu ist es wichtig, dass nur die produktspezifischen Parameter variiert werden.

Das für dieses Vorhaben entwickelte Emissionsszenario beschreibt die Auswaschung aus einem urbanen Einzugsgebiet in ein Oberflächengewässer über den Pfad der Direkteinleitung. Tabelle 7 fasst alle hergeleiteten Parameter zusammen. Nachfolgend sind die Herleitungen der gewählten Parameter detailliert beschrieben.

Weitere Emissionsszenarien wurden in (Burkhardt et al., 2021b) untersucht, wurden aber unter Abwägung aller Betrachtungsebenen und der Praktikabilität verworfen.

Tabelle 7: Zusammenfassung der gewählten Parameter für das bestmögliche Emissionsszenario.

Parameter	Wert	Einheit
Betrachteter Zeitraum	5	Jahre
Wetterdaten von MeteoSchweiz Station	ZH	-
Länge Einzelgebäude	17.5	m
Breite Einzelgebäude	7.5	m
Höhe Fassade Einzelgebäude	10	m
Dachfläche (mit 0.5 m Dachüberstand):	145	m ²
Zusätzliche versiegelte Fläche pro Gebäude	400	m ²
Anteil Direktabfluss pro Gebäude	20	%
Anzahl Gebäude im EZG	1000	-
Abflussanteil am Gewässer pro Gebäude	5	L/s

4.3.1 Wetterdaten und Zeitspanne

Die verwendeten Wetterdaten von Zürich Kloten (Stationsbezeichnung KLO) als Referenz für eine Station im Schweizer Mittelland stammen von MeteoSchweiz. Simuliert wurde die Zeitspanne vom 01.01.2001 bis zum 01.01.2006. Im Jahr 2001 wies die Station Zürich Kloten den höchsten Jahresniederschlag der gesamten Messperiode auf. Durch die Wahl des Startjahres mit der grössten Niederschlagsmenge wird somit sichergestellt, dass die Anfangsauswaschung nicht unterschätzt wird, weil der Niederschlag ausbleibt.

Simuliert wurde über einen Zeitraum von fünf Jahren, da über diese Zeitspanne bei allen Bauprodukten die höchsten Konzentrationen im Ablaufwasser zu erwarten sind. Über grössere Zeiträume gewinnt zudem der Abbau von Substanzen im Material an Bedeutung, z.B. durch Hydrolyse, mikrobiellem Abbau und Verflüchtigung. Diese Prozesse werden durch das Modell nicht berücksichtigt.

4.3.2 Geometrie

Die Geometrie wurde von einem existierenden Gebäudemodell hergeleitet. In der Biozidzulassung wird unter der Biozidprodukteverordnung (BPV) der Austrag aus einem Modellhaus berechnet. Das einstöckige Gebäude weist die Masse 17.5 m Länge, 7.5 m Breite und 2.5 m Höhe auf. Als Referenzhaus für eine urbane Siedlung ist ein einstöckiges Gebäude nicht repräsentativ, weshalb der Grundriss auf vier Stockwerke erweitert wurde und damit das neue COMLEAM-Gebäude die Masse 17.5 m $\times$ 7.5 m $\times$ 10 m (L $\times$ B $\times$ H) umfasst. Die Dachfläche von 145 m² (Grundfläche zzgl. 0.5 m Dachüberstand) wurde für das Szenario beibehalten und als Flachdach mit einem Neigungswinkel von 0° definiert.

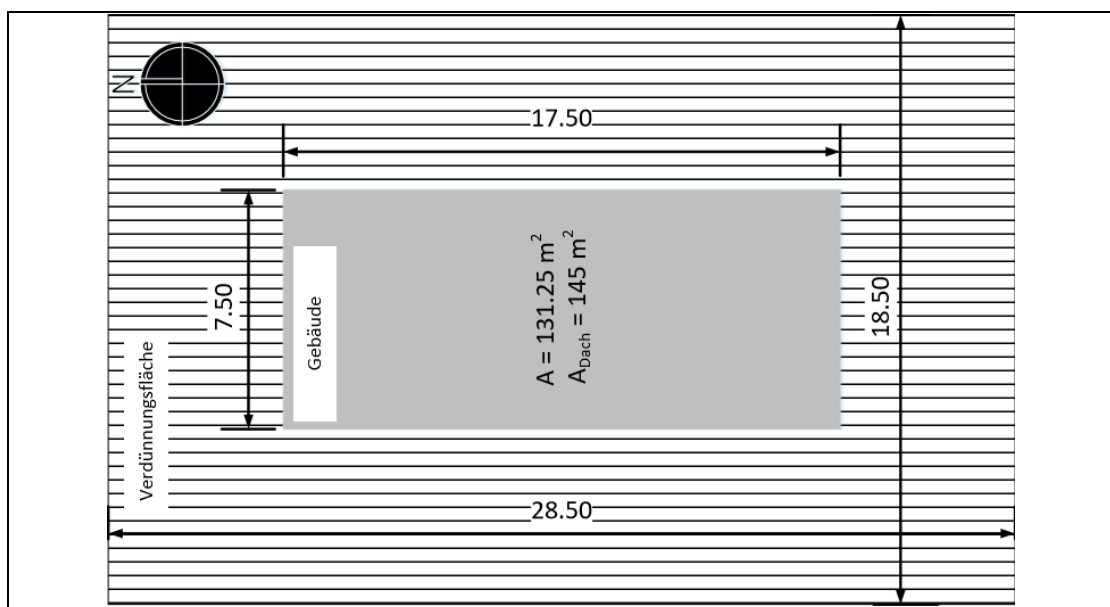


Abbildung 13: Grundfläche des betrachteten Einzelgebäudes inklusive dazugehöriger Verdünnungsfläche.

Zusätzlich wurde eine Verdünnungsfläche festgelegt. Diese Fläche repräsentiert versiegelte Flächen, welche nicht zu einer Stoffemission führen und abflusswirksame Parkplätze, Strassen oder Gehwege darstellen. Die versiegelte Flächengrösse pro

Gebäude wurde abgeleitet aus der Arealstatistik Bodenbedeckung des Bundes gemäss Klassierung «NOLC04» (BFS, 2020). Mithilfe der Daten wurde das Verhältnis zwischen versiegelten Flächen und der Gebäudefläche im Mittelland ermittelt. Dieses Verhältnis ergab sich durch Division der «befestigten Flächen» durch die «Gebäude». Es zeigte sich, dass pro m² Gebäudefläche 2.8 m² versiegelte Flächen dazukommen. Umgerechnet auf den Grundriss des Mustergebäudes ergibt sich eine versiegelte Fläche pro Gebäude von gerundeten 400 m². Dies entspricht einem Hausumschwung mit 5.5 m Abstand vom Gebäude, wie in Abbildung 13 gezeigt.

Die beiden längeren Fassaden sind nach Westen respektive Osten ausgerichtet. Die Hauptwindrichtung für Schlagregen in Mitteleuropa ist West. Somit liegt die grössere Fassadenfläche in Hauptwindrichtung, wodurch der Schlagregen und die damit verbundene Freisetzung aus den Fassadenmaterialien konservativ definiert ist. Für die Fassadensimulationen wurden eine Aussenfarbe definiert. Der Abflussbeiwert ist auf 0.85 festgelegt.

4.3.3 Eintragspfade

Die Anzahl möglicher Eintragspfade für Regenwasser in ein Oberflächengewässer ist gross. Von einem Gebäude in unmittelbarer Nähe zu einem Gewässer kann Niederschlag von der Fassade oder dem Dach direkt oder über eine kurze oberflächige s in das Gewässer gelangen. Wenn das Gebäude an der Trennkanalisation angeschlossen ist, fliesst der Niederschlagsabfluss unmittelbar in ein Oberflächengewässer. Ist das Gebäude an der Mischkanalisation angeschlossen, gelangen Stoffe über die Kläranlage in Gewässer. Darüber hinaus wird der Niederschlagsabfluss vom Gebäude in eine Versickerung geleitet, um zu versickern und oberflächennah in ein Gewässer zu gelangen.

Für das neu entwickelte Emissionsszenario wurde der kritischste Pfad für Gewässer – die Direkteinleitung - betrachtet. Hierbei tritt kein Abbau und keine weitere Stoffretardation auf. Gemäss (SVGW, 2012) wird Niederschlagswasser in der Siedlungsentwässerung zu 30 % getrennt abgeleitet, davon wiederum 10 % via Versickerung und 20 % via Direkteinleitung in Gewässer. Dieser Anteil des gesamten Niederschlagsabflusses wurde für das Emissionsszenario als geeigneter Orientierungswert festgelegt.

4.3.4 Einzugsgebiet

Für die Ermittlung der Modellparameter wurde als Referenz ein Einzugsgebiet detailliert analysiert, wobei sich der Strackbach in Gerlafingen als besonders geeignet zeigte. Das Einzugsgebiet ist in Abbildung 14 farblich markiert. Der Abfluss wird durch die Messstation «Strackbach – Gerlafingen» des Bundes mit ID 2157 gemessen. Das Einzugsgebiet ist dasjenige Gebiet mit Pegelmessung mit dem grössten Anteil urbaner Siedlungsfläche und einem Gesamtgebiet von weniger als 15 km². Es ist damit als Datengrundlage für ein kleines urbanes Einzugsgebiet geeignet.

Die 1300 grösseren Gebäude im Einzugsgebiet wurden ausgezählt. Für die Festlegung der Szenarioparameter wurden die Kennzahlen von Gerlafingen wie folgt gerundet:

- Anzahl Gebäude: 1000
- Gewässergrösse: 1000 L/s

Um ein komplettes Einzugsgebiet zu simulieren, ist ein räumlicher Bezug der Gebäude nötig (Standort der Gebäude, Abstand zum Gewässer, ...). Um dies zu vereinfachen, wurde die Gesamtemissionen aus dem Einzugsgebiet auf ein einzelnes Gebäude umgerechnet. Dies bedeutet, dass jedem Einzelgebäude ein gewisser Anteil

am Gewässerabfluss zusteht. Wird dieser Gewässeranteil vom Einzelgebäude nicht übermässig belastet, resultiert auch für das gesamte Einzugsgebiet keine übermässige Gewässerbelastung. Unter der Berücksichtigung von 20 % Direkteinleitung pro Gebäude (vgl. 4.3.3) resultiert die Gewässergrösse pro Gebäude gemäss Formel 2.

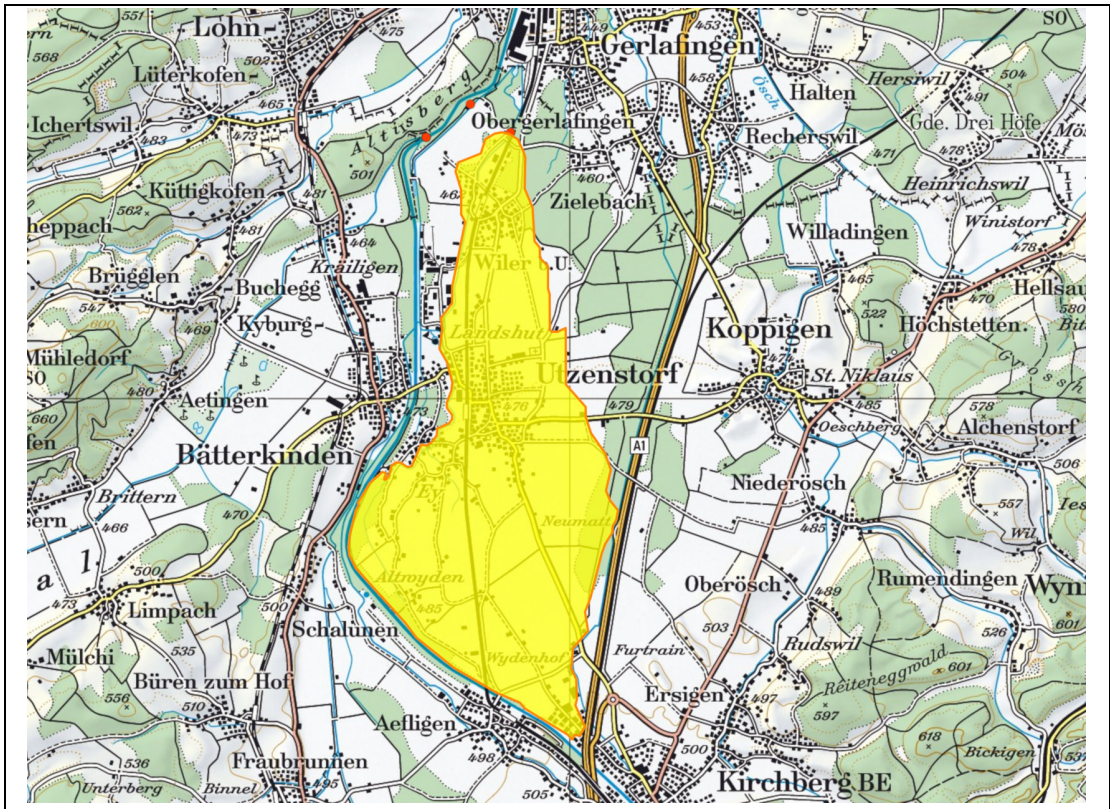


Abbildung 14: Das Einzugsgebiet des Strackbachs am Pegel Gerlafingen

Für das Emissionsszenario wird weiter angenommen, dass das zu prüfende Produkt auf allen Gebäuden im Einzugsgebiet verbaut ist. Die Produktprüfung für ein ökologisches Label soll die Emissionen eines Produkts bewerten. Für diese Anwendung ist es richtig, von einem ausschliesslichen Einsatz des zu prüfenden Produkts auszugehen und es im Modell auf alle Gebäude zu applizieren.

Formel 2: Berechnung der Gewässergrösse pro Gebäude.

$$\frac{\text{Gewässergrösse}}{\text{Gebäudezahl} \times \text{Anteil Direkteinleitung}} = \frac{1000 \frac{\text{L}}{\text{s}}}{1000 \times 0.2} = 5 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

5. Bewertung der Konzentration im Gewässer

5.1 Mittelung für die Bewertung

Für die Bewertung des Konzentrationsverlaufs im Vergleich mit akuten und chronischen Qualitätskriterien sind die Stundenwerte der Simulation zu hoch aufgelöst. Gemäss GSchV können Spitzenwerte durchaus in der Bewertung relevant sein. Die räumlichen Verhältnisse der Einleitung beeinflussen die Konzentrationsspitzen stark. Im gewählten Modell werden die Verhältnisse auf ein Gebäude reduziert. Deshalb werden die räumlichen Verhältnisse für die Beurteilung von Spitzenkonzentrationen zu wenig genau abgebildet. Für die gewünschten Aussagen zur akuten und chronischen Toxizität ist eine Spitzenbewertung jedoch nicht nötig, wie nachfolgend dargestellt wird.

Im Labor wird die akute Toxizität typischerweise über mehrere Tage ermittelt. Das GHS (globally harmonised system) legt für die Einstufung der Gewässertoxizität von Stoffen fest, welche Versuche zur akuten Toxizität durchgeführt werden müssen. Gefordert wird ein 96 Std.-Versuch zur akuten Fischtoxizität, ein 48 Std.-Versuch zur Toxizität auf Krebstiere und ein 72 Std. oder ein 96 Std.-Versuch zur Toxizität auf Wasserpflanzen (UBA, 2013). Die Versuchsdauer liegt also zwischen zwei und vier Tagen. Zur Beurteilung der akuten Toxizität wird der Konzentrationsverlauf deshalb über 3.5 Tage gemittelt. Für die chronischen Grenzwerte werden Versuche mit unterschiedlicher Laufzeit beigezogen. Die Reproduktion des Wasserfloh wird während 21 Tagen untersucht (OECD, 2012). Die Wachstumshemmung von Cyanobakterien hingegen während 72 Stunden (OECD, 2011). Zudem wird die Einwirkung einer Substanz auf die Entwicklung von Fischeiern untersucht. Dieser Test dauert von der Eiablage bis zum Zeitpunkt, wo die geschlüpften Fische frei schwimmen (OECD, 2013). Für die Mittelung der Kurven der Simulation wurde als Mittelwert der Testzeiten 14 Tage festgelegt. Diese Periode entspricht auch dem Beurteilungszeitraum für chronische Belastungen gemäss GSchV. Die Studie von (Ashauer et al., 2020) kommt zum Schluss, dass akute Belastungen mit einer Mittelung über 3 Tage und chronische mit einer Mittelung über 14 Tage gemessen werden sollten.

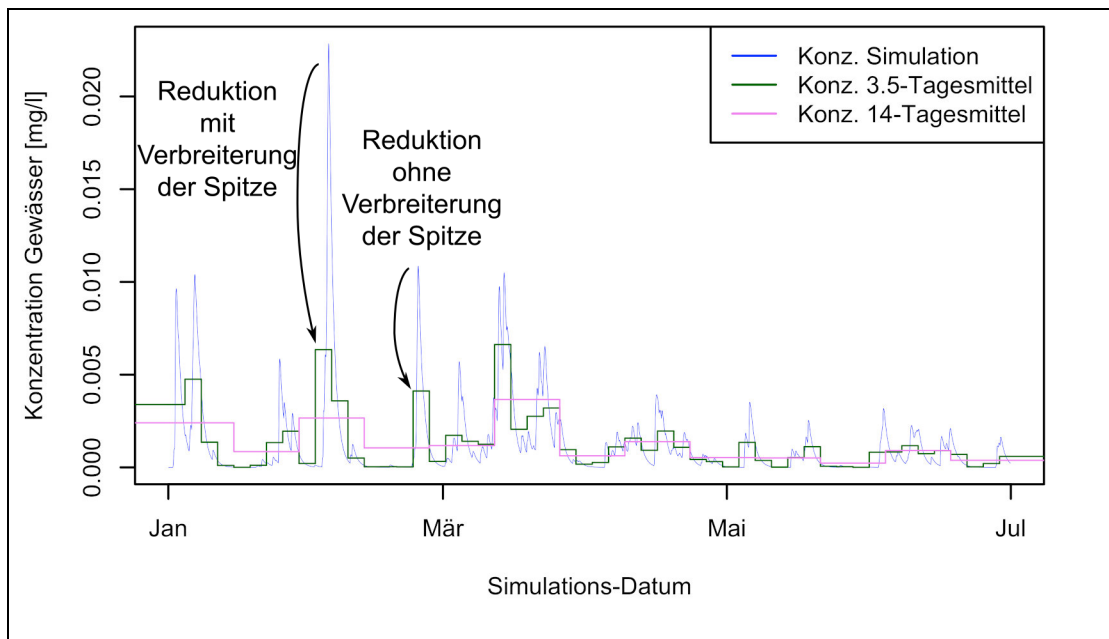


Abbildung 15: Biozidkonzentrationen im Gewässer im ersten halben Jahr eines simulierten Verlaufs. Vergleich der Stundenwerte der Simulation mit den gemittelten Werten über 3.5 und 14 Tage.

Die Mittelungsperiode startet mit dem Simulationsbeginn. Die Kurve der 3.5-Tagesmittel wird für den Vergleich mit den Beurteilungswerten für die akute Toxizität (siehe Kapitel 5.3) verwendet. Sie ist in der Abbildung 15 grün dargestellt. Die Kurve mit den 14-Tagesmitteln wird verwendet für den Vergleich mit den Beurteilungswerten für die chronische Toxizität. Sie ist in der Abbildung 15 rosa eingezeichnet.

Die Mittelung glättet die Spitzen und Täler des Konzentrationsverlaufs. Besonders Spitzenkonzentrationen, die in der Simulation oft sehr kurz sind, werden stark gedämpft. Die Zeitdauer der Spitzen wird hingegen besonders im 3.5-Tagesmittel gegenüber den Simulationswerten verlängert - sie werden also flacher und breiter. Die Verbreiterung der Spitzen hängt auch davon ab, wie ein Regenereignis in der Mittelungsperiode liegt. Exemplarisch zeigt Abbildung 15, dass beim Regenereignis anfangs Februar eine deutliche Verbreiterung der Spitze auftritt, da die Spitze der Simulationsdaten in der Nähe der Grenze von zwei Mittelungsperioden liegt. Im Gegensatz dazu wird die Spitze Ende Februar kaum breiter. Der Peak der Stundenwerte passt fast exakt in die Mittelungsperiode.

5.2 Mischungstoxizität

Für die Bewertung der Emissionen wird die Mischungstoxizität verwendet, wie sie durch das Oekotoxzentrum definiert wurde (Junghans et al., 2013). Das Vorgehen ist gleich für die Bewertung der akuten Toxizität und die Bewertung der chronischen Toxizität, die Methoden unterscheiden sich nur bei der Mittelung der Messwerte.

Für die Bewertung der akuten Mischungstoxizität wird aus dem Konzentrationsverlauf der Simulation ein Verlauf von 3.5-Tagesmitteln gebildet. Für die Bewertung der chronischen Toxizität wird aus den Simulationsresultaten der Verlauf von 14-Tagesmitteln

gebildet. Daraus wird für jede Substanz aus jedem Wert der gemittelten Zeitreihe der Risikoquotient aus der Konzentration im Gewässer, geteilt durch den Beurteilungswert, gebildet. Dieser Risikoquotient wird über alle Substanzen summiert. So resultieren zwei Zeitreihen für die Mischungstoxizität pro Bauprodukt: eine mit akuten Risikoquotienten und eine mit chronischen Risikoquotienten.

Die Berechnung der Risikoquotienten erfolgt gemäss Formel 3 für den akuten Risikoquotienten und gemäss Formel 4 für den chronischen Risikoquotienten. Für beide Zeitreihen gilt, dass die Mischungstoxizität < 1 sein muss, damit der Beurteilungswert für das Gewässer eingehalten wird.

Formel 3: Berechnung des akuten Risikoquotienten

$$RQ_{akut} = \sum_i \frac{\text{Konzentration } 3.5\text{Tagesmittel}_{\text{Substanz } i}}{\text{akuter Beurteilungswert}_{\text{Substanz } i}}$$

Formel 4: Berechnung des chronischen Risikoquotienten.

$$RQ_{chronisch} = \sum_i \frac{\text{Konzentration } 14\text{Tagesmittel}_{\text{Substanz } i}}{\text{chronischer Beurteilungswert}_{\text{Substanz } i}}$$

5.3 Festlegung der Beurteilungswerte

5.3.1 Herleitung der Beurteilungswerte

Für die Herleitung der anwendbaren Beurteilungswerte wurden mehrere Quellen verwendet. Die Listennummern entsprechen der Priorisierung der Beurteilungswerten.

1. Stoffspezifische Anforderungen in Anhang 2 der Schweizer Gewässerschutzverordnung (Schweizerischer Bundesrat, 2020)
2. Qualitätskriterien des Oekotoxizentrums in der jeweils gültigen Fassung.
3. PNEC gemäss REACH-Zulassungsdossier der ECHA.

Falls es sich um ein Pestizid handelt und der gefundene akute oder chronische Wert > 0.1 µg/L ist, gilt gemäss Schweizer Gewässerschutzverordnung der Anforderungswert von 0.1 µg/L pro Pestizid, zu denen Biozide gehören, für den betreffenden Beurteilungswert. Diese Werte gelten für Gewässer, die zur Trinkwassernutzung herangezogen werden. Für eine ökologische Produktbewertung macht es aus Vorsorgegründen Sinn, diese Grenzwerte zu verwenden. Für die vorliegende Studie wurden die Werte aus (Burkhardt et al., 2021b), Anhang G, auf Aktualität geprüft und verwendet. Für Permethrin und Propiconazol mussten die Werte neu recherchiert werden. Die verwendeten Werte für die simulierten Holzanstriche sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Beurteilungswerte für die Bewertung der Holzanstriche und Druckimprägnierung.

Substanz	Stoffgruppe	CAS-Nr.	Quelle Anforderungswert	Akut [µg/l]	Chronisch [µg/l]
Cyproconazol	Pestizid	94361-06-5	GSchV Anh. 2 unspez.	0.1	0.1
Diuron	Pestizid	330-54-1	GSchV Anh. 2 spez.	0.25	0.07

Substanz	Stoffgruppe	CAS-Nr.	Quelle Anforderungswert	Akut [µg/l]	Chronisch [µg/l]
Permethrin	Pestizid	52645-53-1	Qualitätskriterien Oekotoxzentrum	0.0025	0.00027
Propiconazol	Pestizid	60207-90-1	GSchV Anh. 2 unspez.	0.1	0.1
Tebuconazol	Pestizid	107534-96-3	GSchV Anh. 2 unspez.	0.1	0.1
Thiacloprid	Pestizid	111988-49-9	GSchV Anh. 2 spez.	0.08	0.01

5.3.2 Stoffspezifische Anforderungen in Anhang 2 der GSchV

Die stoffspezifischen Anforderungen im Anhang 2 der GSchV (Schweizerischer Bundesrat, 2020) weisen für organische Pestizide pro Substanz jeweils zwei Werte aus, wobei einer mit «andauernd» gekennzeichnet ist. Der nicht gekennzeichnete Wert stimmt überein mit dem AQK und der als «andauernd» gekennzeichnete mit dem CQK in der Liste der Qualitätskriterien des Oekotoxentrums. Die Werte werden unterschieden zwischen Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen und solchen, die nicht der Trinkwassernutzung dienen. Für Gewässer, die nicht der Trinkwassernutzung dienen, sind immer zwei numerische Anforderungen festgelegt. Für Gewässer, welche der Trinkwassernutzung dienen, werden weniger stoffspezifische Werte festgelegt, wodurch öfters der allgemeine Anforderungswert gilt. Für die Bewertung werden die Werte für Gewässer ohne Trinkwassernutzung als akuter und chronischer Beurteilungswert bei der Emissionsbeurteilung berücksichtigt.

5.3.3 Qualitätskriterien

Die Qualitätskriterien des Oekotoxentrums werden regelmässig aktualisiert. In dieser Studie werden diejenigen gemäss der Liste vom Oktober 2023 verwendet.

5.3.4 Allgemeine Anforderung für Pestizide gemäss GSchV

Für alle nicht namentlich genannten organischen Pestizide legt die GSchV in Anh. 2 eine numerische Anforderung von 0.1 µg/l fest. Die GSchV unterscheidet in diesem Fall nicht zwischen einem Grenzwert und einem «anhaltenden» Grenzwert. Für die Anwendung bei der Emissionsbeurteilung wird dies so interpretiert, dass die Anforderung sowohl für akute Spitzen wie auch über 14 Tage gemittelte chronische Konzentrationen eingehalten werden muss. Die Anforderung aus der GSchV wird also als akuter wie auch als chronischer Beurteilungswert verwendet.

5.4 Anwendung der Risikoquotienten für die Produktbewertung

5.4.1 Grenzwerte für die Überschreitung von Risikoquotienten

Für die Beurteilung von Produkten werden die Risikoquotienten (RQ) der Mischungstoxizität verglichen mit Grenzwerten. Der tiefste RQ beträgt 1, der mittlere 5

und der grösste 10. Damit der Wert eingehalten ist, dürfen sowohl der akute wie auch der chronische RQ den Grenzwert während der Simulationsdauer nicht überschreiten. Für die Beurteilung wird der Anteil der Zeit berechnet, in welcher der RQ überschritten ist. Dies geschieht mit einer Genauigkeit von 1 Prozent. Wenn der zeitliche Anteil der Überschreitung 0 % beträgt, gilt das Kriterium als eingehalten. Das Schema in Abbildung 25 (Kapitel 7.6.1) veranschaulicht die Anwendung grafisch.

Falls ein Produkt mehrere relevante Stoffe emittiert, müssen die Konzentrationen der Einzelstoffe kleiner als das jeweilige Qualitätskriterium sein, damit RQ für die Mischtoxizität nicht > 1 wird. Werden beispielsweise zwei Stoffe bewertet, die beide mit der halben Konzentration ihres stoffspezifischen Qualitätskriteriums im Gewässer vorliegen, so wird für die Mischtoxizität $RQ = 1$. Diese Beurteilung stellt sicher, dass keine toxischen Effekte in einem Gewässer auftreten können. Ein Produkt, dessen RQ für die Mischungstoxizität 1 nicht überschreitet, wird deshalb gemäss dem Beurteilungsschema gleich gut bewertet wie ein biozidfreies Produkt.

Für die Festlegung der weiteren Abstufungen sind die Faktoren massgeblich, die bei der Herleitung von Qualitätskriterien angewendet werden: Gemäss den technischen Vorgaben zur Herleitung von Qualitätskriterien werden die Daten aus Laborversuchen durch Bewertungsfaktoren dividiert, um die Qualitätskriterien für Gewässer zu erhalten. Dieser Faktor beträgt 10, falls die Datenbasis aus chronischen Versuchen gut ist. Falls viele Versuche mit unterschiedlichen Arten vorliegen, kann ein statistischer Ansatz verwendet werden und der Bewertungsfaktor beträgt 1-5. (European Commission, 2011). In praxisnahe Aussagen übersetzt kann gesagt werden, dass eine Schädigung von Wasserorganismen bei RQ für die Mischungstoxizität von 5 möglich ist. Bei RQ für die Mischungstoxizität von 10 erscheint eine Schädigung von Wasserorganismen als wahrscheinlich.

Das hier vorgestellte Verfahren könnte vereinfacht werden, indem nur der chronische RQ betrachtet wird. Für die untersuchten Produkte war die chronische Betrachtung mit einer Ausnahme strenger als die akute. Die Ausnahme betrifft das Produkt G/L2 bei dem die Betrachtung des chronischen RQ gleich abschnitt wie die Betrachtung des akuten RQ. Allerdings wird für regengetriebene Stoffeinträge die Pulsbelastung als besonders relevant erachtet. Die Verwendung beider Kriterien für akute und chronische Belastungen ist darum besser kommunizierbar.

5.4.2 Dreistufige oder vierstufige Bewertung der Produkte

Aus den einfachen, fünffachen oder zehnfachen Überschreitungen der RQ erarbeiten wir ein dreistufiges, sowie ein vierstufiges Bewertungsschema. Diese funktionieren gemäss Abbildung 16.

	Bewertung 3-stufig	Bewertung 4-stufig
Das Produkt ist frei von Bioziden mit $DT_{50} \geq 3$ Tage	Stufe 1	Stufe 1
RQ akut und RQ _{chronisch} werden während 100% der Simulationsdauer unterschritten	Stufe 1	Stufe 1
RQ akut * 5 und RQ _{chronisch} * 5 werden während 100% der Simulationsdauer unterschritten	Stufe 2	Stufe 2
RQ akut * 10 und RQ _{chronisch} * 10 werden während 100% der Simulationsdauer unterschritten	Stufe 3	Stufe 3
RQ akut * 10 oder RQ _{chronisch} * 10 wird überschritten	Stufe 3	Stufe 4

Abbildung 16: Bewertungsschema für die Produktbewertung 3- oder 4-stufig.

6. Simulationsresultate und Bewertung Nutzungsphase

6.1 Emissionsszenario und Bewertungsmassstab mit Beispielprodukten

Die Bewertungsmethode wurde mit sieben Produkten evaluiert (Tabelle 1): zwei Lasuren (LA1, LA2), drei Beschichtungen mit Grundierung und Deckschicht (G/L1, G/L2, G/L3), ein Decklack (DL1) und eine Druckimprägnierung (DI1), die irrtümlicherweise noch mit einem Decklack (DL1) beschichtet war.

Die Bewertung der akuten Risikoquotienten (RQ_{akut}) erfolgte mit den über 3.5 Tagen, die der chronischen Risikoquotienten ($RQ_{\text{chronisch}}$) mit über 14 Tage gemittelten Datenreihen.

In Analogie zur Methodik für die emissionsbasierte Produktbewertung (Burkhardt et al., 2021b) welche für Dachbahnen und Fassadenputze entwickelt wurde, werden Emissionen von Stoffen mit einer Halbwertszeit $DT_{50} < 3$ Tage nicht bewertet, weil das Belastungsrisiko im Gewässer gegenüber langlebigen Stoffen als gering eingeschätzt wird.

6.2 Lasuren

Die Ergebnisse der beiden untersuchten Lasuren LA1 und LA2 zeigen, dass die Gewässerbelastungen produktspezifisch variieren. Während LA2 keinen nennenswerten Einfluss auf die Belastung haben, ist bei LA1 die potentielle Gewässerbelastung sehr hoch.

So enthält Lasur LA2 nur Wirkstoffe mit $DT_{50} < 3$ Tagen. Die Emissionen dieser Biozide (IPBC, OIT, MIT, BIT) sind für die Produktbewertung nicht nachteilig (Abbildung 25). LA2 erreicht demzufolge die höchste Stufe 1.

Für Lasur LA1 wurde eine Simulation der Auswaschverhaltens von Diuron vorgenommen, denn nur dies Biozide ist ein PT-relevant (Abbildung 17). Die erwarteten Diuron-Konzentrationen im Gewässer führen zu einer deutlichen und langfristigen Überschreitung der akuten und chronischen Qualitätskriterien. Wie Abbildung 17 zeigt, liegt während der betrachteten Zeitspanne von 5 Jahren in mehr als der Hälfte der Zeit $RQ_{\text{akut}} > 1$, $RQ_{\text{chronisch}}$ sogar über fast 90 % der Zeit > 1 . Demzufolge liegen die Diuron-Konzentrationen im simulierten Gewässer über die meiste Zeit über dem Anforderungswert. Die Überschreitung der Richtwerte im Gewässer korreliert mit den regengetriebenen Emissionen. Zudem wird RQ_{akut} während 20 % der Zeit um das 5-fache und während 6 % der Zeit um das 10-fache überschritten. Das Qualitätskriterium $RQ_{\text{chronisch}}$ wird während 27 % der Simulationsdauer um einen Faktor 5 und während 9 % der Zeit um das 10-fache überschritten.

Von allen untersuchten Produkten, welche Diuron enthalten, sind die Emissionen aus LA1 am grössten. Demzufolge erhält das Produkt LA1 gemäss dem Bewertungsschema in Abbildung 16 einen maximalen Abzug und landet auf Stufe 3 oder 4.

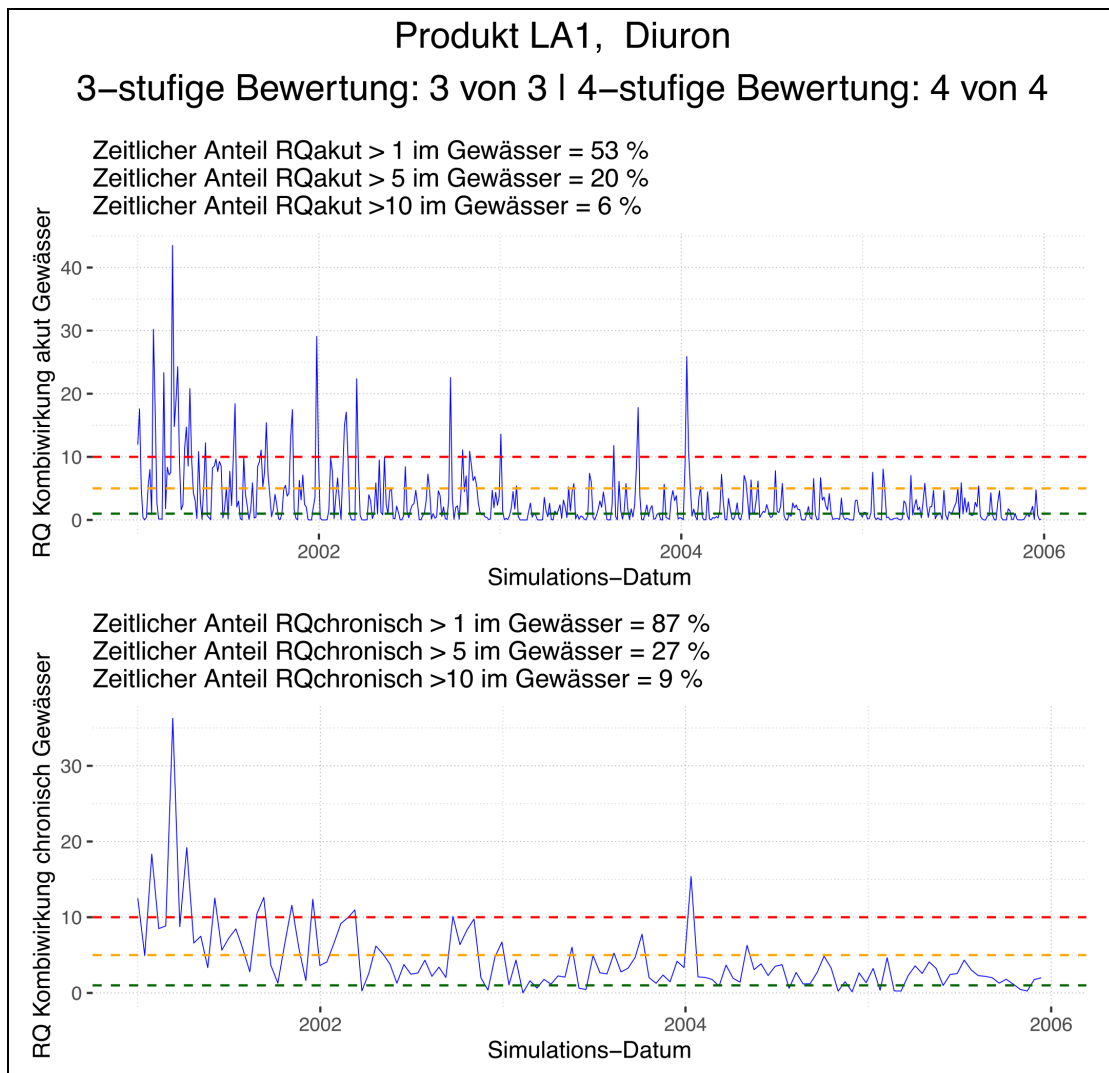


Abbildung 17: Emissionen von LA1, bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$.

6.3 Beschichtungen mit Grundierung und Decklack

Von den im zweischichtigen System G/L1 enthaltenen Bioziden wurden Tebuconazol und Permethrin bewertet (Abbildung 18). Beide Wirkstoffe sind gemäss Produktdeklaration in der Grundierung enthalten. IPBC in der Grundierung sowie im Decklack wird aufgrund vom $DT_{50} < 3$ Tagen nicht vertieft bewertet. Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass die kombinierte Wirkung der Biozide Tebuconazol und Permethrin zu einer Gewässerbelastung während 2 - 3 % der Simulationsdauer führt. Punktuell liegen RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$ zwischen 2 und 2.5. Die Ergebnisse der Simulation führen zu einer Bewertung mit Stufe 2 gemäss Schema in Abbildung 16.

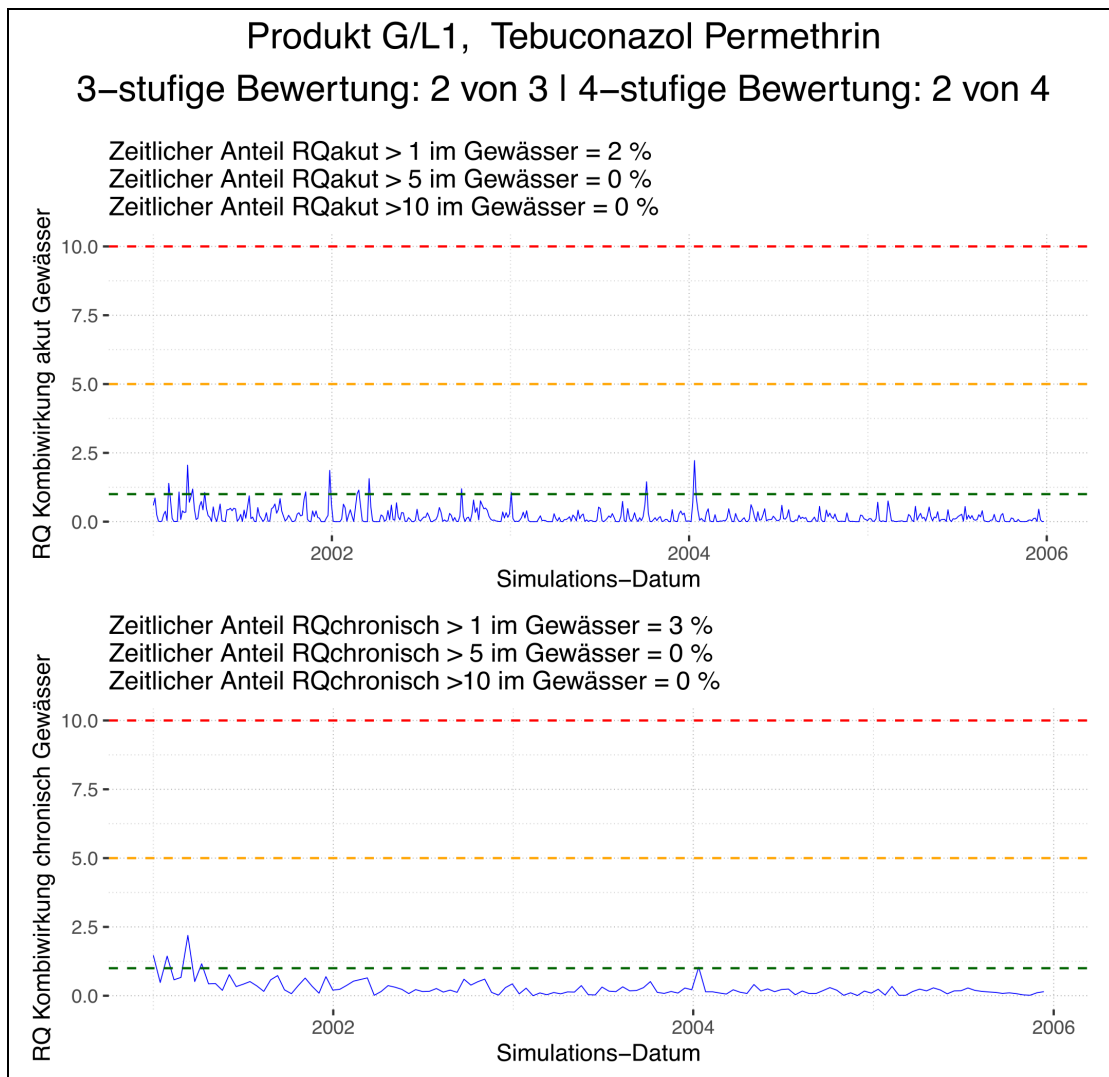


Abbildung 18: Emissionen von G/L1 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$.

G/L2 enthält die gleichen Wirkstoffe in der Grundierung und im Decklack wie G/L1. In der Grundierung ist zusätzlich polymeres Betain als Wirkstoff vorhanden. Dieses Bi-zid konnte aufgrund von fehlenden Qualitätskriterien nicht bewertet werden. Die simulierten Risikoquotienten für die akute und chronische Toxizität sind in Abbildung 19 dargestellt. Die beiden Risikoquotienten sind deutlich höher als beim Produkt G/L1. RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$ liegen während 22 % der Simulationsdauer > 1 . Vereinzelt und während kurzer Zeit wird RQ_{akut} 5 überschritten, dies jedoch in < 1 % der Simulationsdauer. Interessanterweise wird diese Überschreitung ca. 3 Jahre nach Simulationsstart erzielt und nicht zu Beginn. Die Überschreitung ist auf ein starkes Regenereignis zurückzuführen.

Die Konzentrationsspitzen sind bei der akuten Toxizität stärker ausgeprägt als bei der chronischen, da die simulierten Konzentrationen über eine kürzere Zeitdauer gemittelt werden (Abschnitt 6.1). Getrieben werden die Spitzen durch intensive Schlagregenereignisse. Auch über fast die gesamte Simulationsdauer werden $RQ_{chronisch}$ nicht überschritten, nur kurzzeitig $RQ_{chronisch}$ von 5 erreicht. Die über 5 Jahre simulierten Risikoquotienten führen in der Produktbewertung zur Bewertung mit Stufe 2 gemäss Schema in Abbildung 16.

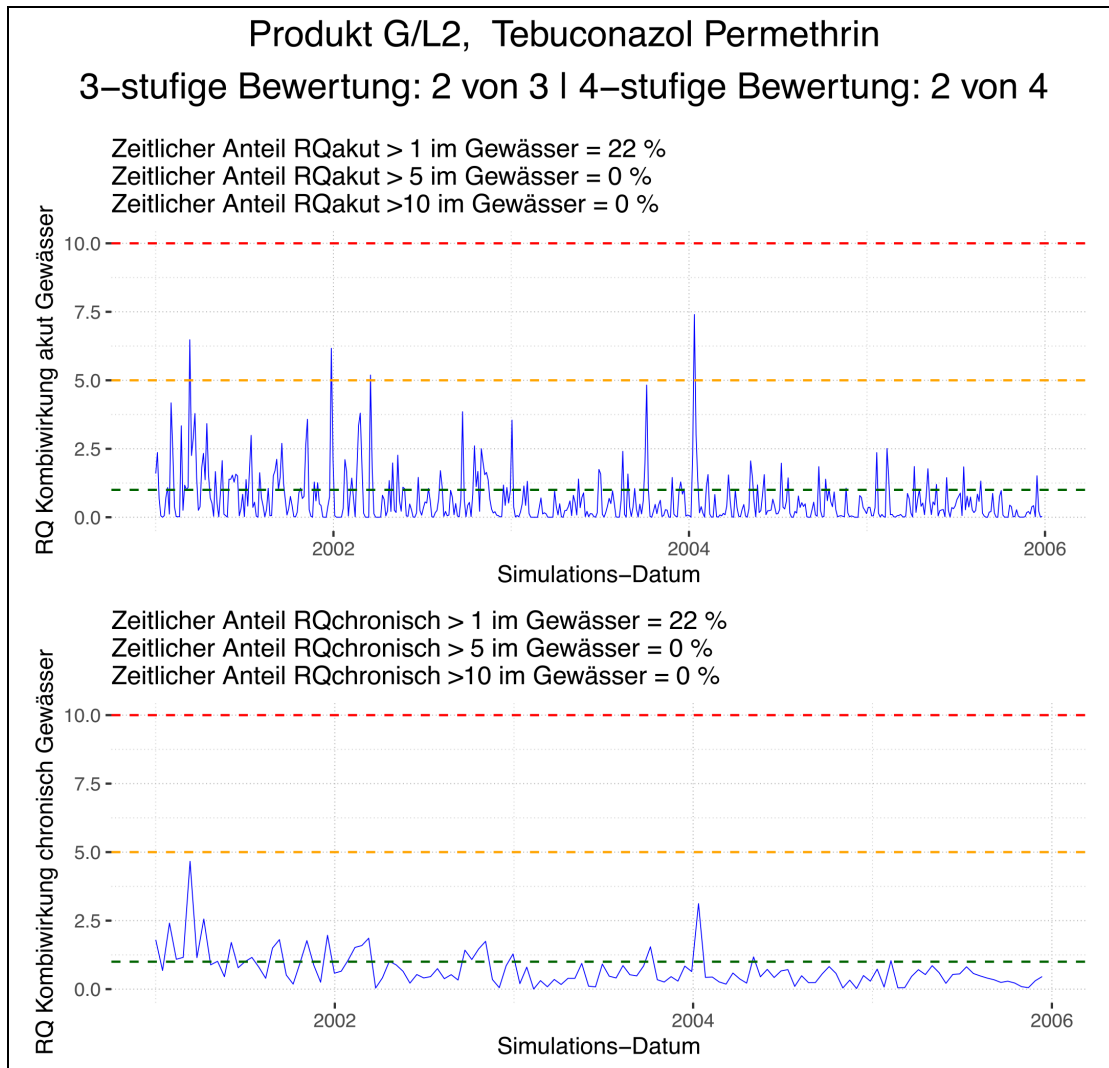


Abbildung 19: Emissionen von G/L2 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$.

Gemäss dem untersuchten Bewertungsansatz schneidet die Beschichtung G/L3 am schlechtesten ab (Abbildung 20). Von dem in der Beschichtung enthaltenen Bioziden ist nur Propiconazol aus der Grundierung zu bewerten. IBPC und die Isothiazolinone werden aufgrund der schnellen Abbaubarkeit ($DT_{50} < 3$ Tage) nicht bewertet. Die durch die Emissionen von Propiconazol verursachte Gewässerbelastung wird als relativ hoch eingeschätzt. Während mehr als 20 % der Simulationsdauer sind die Qualitätskriterien um das 10-fache überschritten. Die Beschichtung erhält einen maximalen Abzug in der Bewertung und landet auf Stufe 3 (3-stufige Bewertung) oder Stufe 4 (4-stufige Bewertung).

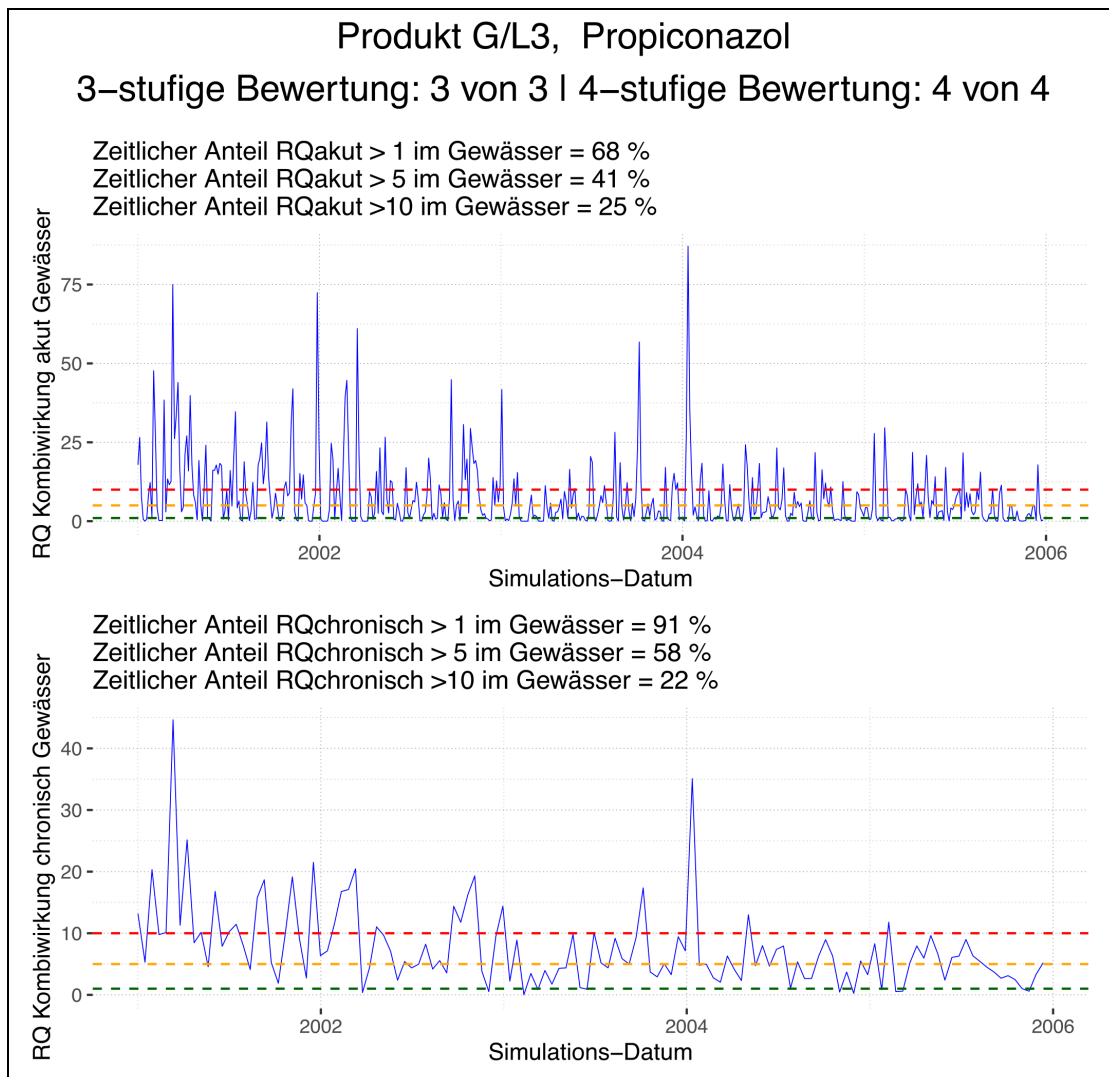


Abbildung 20: Emissionen von G/L3 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$.

6.4 Decklack

DL1 enthält die Biozide Diuron, IPBC, OIT und Pyridin-2-thiol-1-oxid. Aufgrund der guten Abbaubarkeit der Wirkstoffe wurde nur Diuron als massgebend für die Gewässerbelastung ausgewählt. Wie die Simulationsergebnisse in Abbildung 21 zeigen, führen die Emissionen zu einer relativ hohen Gewässerbelastung. Über 5 Jahre wird RQ_{akut} während 11 % um das 5-fache und während 3 % um das 10-fache überschritten. Gleichzeitig liegt $RQ_{chronisch}$ während 16 % der Zeit um das 5-fache, bzw. während 3 % der Zeit um das 10-fache über dem Qualitätskriterium.

Daher erhält der Decklack einen maximalen Abzug und liegt im drei- oder vierstufigen Bewertungsschema auf jeweils der untersten Stufe. Die Decklacke zeigen genauso wie die Lasuren bei den Beschichtungssystemen grosse produktspezifische Unterschiede.

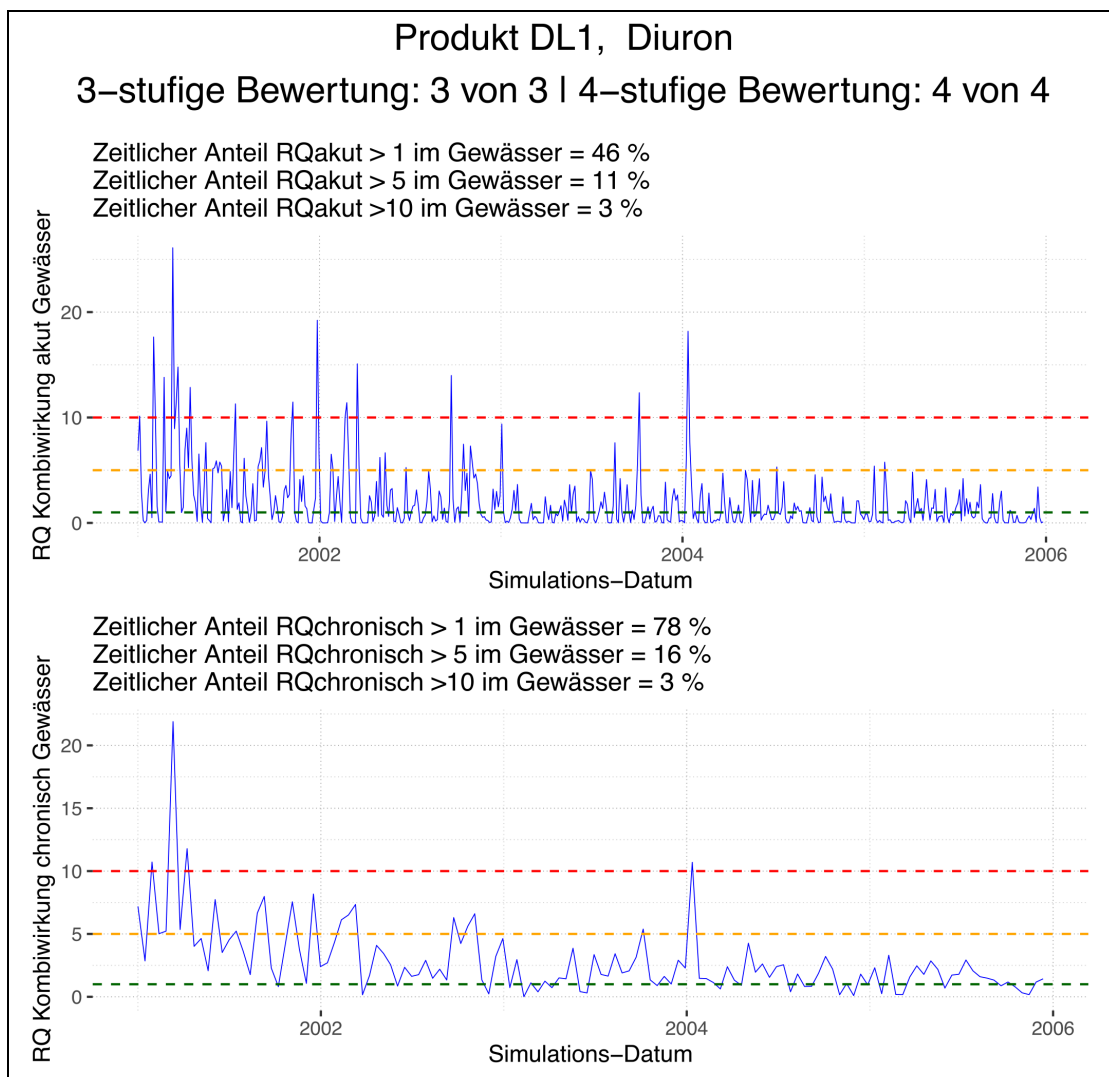


Abbildung 21: Emissionen von DL1 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$.

6.5 Druckimprägnierung

Als massgebende Rezepturbestandteile der Druckimprägnierung gelten die Biozide Thiacloprid und Cyproconazol (Abbildung 22). Bei der Interpretation der Simulation ist zu beachten, dass auch die Seitenflächen des druckimprägnierten Prüfkörpers während des Auswaschversuchs Biozide emittierten. Die simulierten Konzentrationen dürften deshalb etwas höher sein als es bei einer Emission nur über die Stirnseite der Fall wäre. Als Anwendungsfall könnte die Modellierung eine druckimprägnierte Schalung abbilden, bei der die Stirnseiten ebenfalls zu den Emissionen beitragen.

Wie die Ergebnisse zeigen, führen die Emissionen zu keiner akuten Gewässerbelastung. Während weniger als 1 % der Simulationsdauer liegt RQ_{akut} über 1. Die chronischen Toxizität $RQ_{chronisch}$ ist ebenfalls nur in 3 % der Simulationsdauer grösser als 1, jedoch führt diese in der emissionsbasierten Produktbewertung zu 1 Stufe Abzug. Emissionen aus Druckimprägnierungen sind also nicht gleich null, liegen jedoch deutlich tiefer als für Anstriche mit hoher Schutzwirkung.

Da die Druckimprägnierung zusätzlich mit einem Decklack bestrichen war, ist nicht auszuschliessen, dass dadurch die Stoffmigration behindert wurde. Für die Bewertung des Emissionsverhaltens wurde Diuron nicht berücksichtigt, weil der entsprechende Lack irrtümlicherweise appliziert wurde.

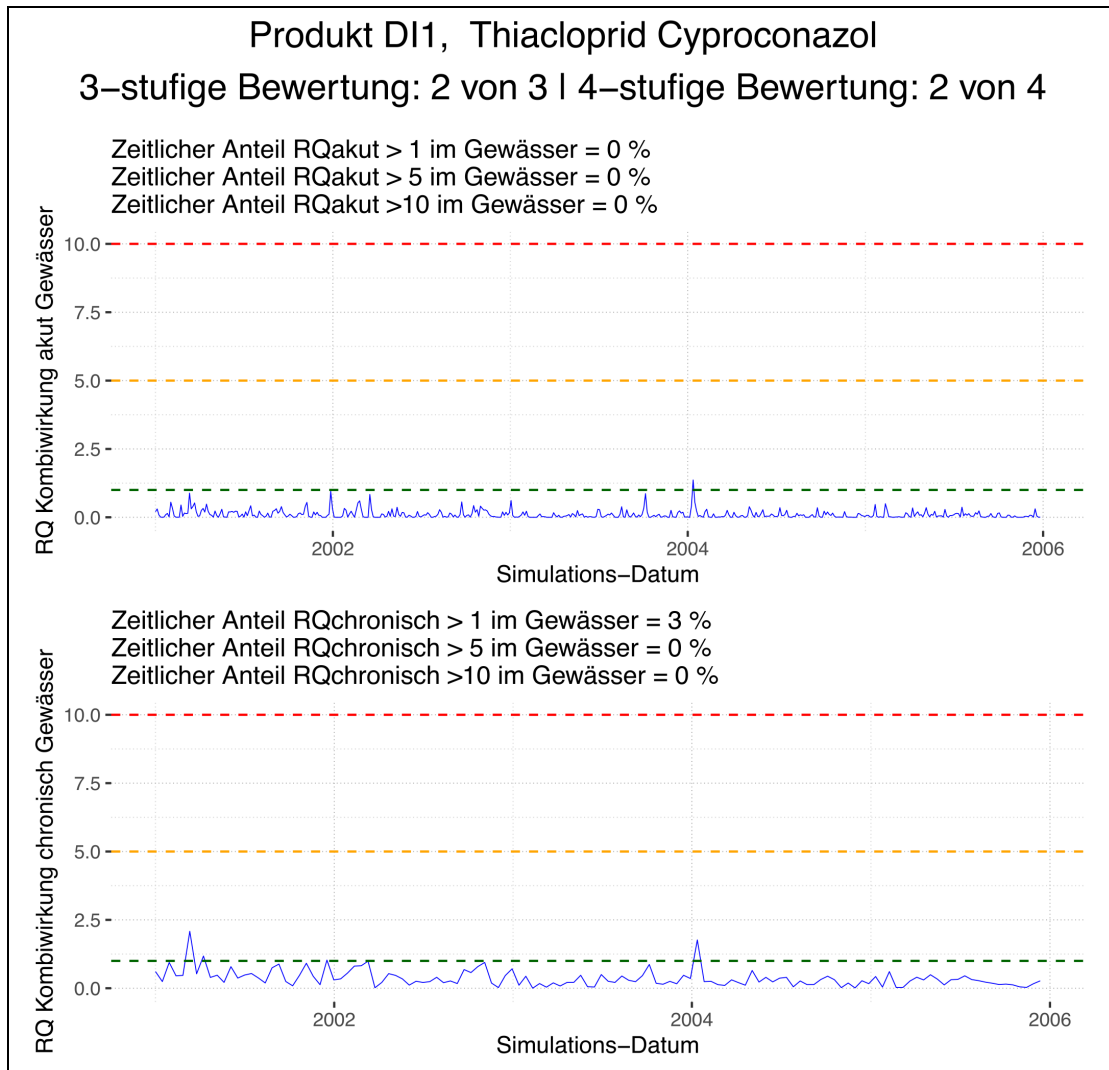


Abbildung 22: Emissionen von DI1 bewertet mit RQ_{akut} und $RQ_{chronisch}$

7. Emissionsbasierte Produktauszeichnung

7.1 Einleitung

Die emissionsbasierte Bewertung kann die heute übliche Bewertung von Inhaltsstoffen ergänzen. Im Kapitel 7.2 wird aufgezeigt, wie die Bewertung von Inhaltsstoffen im Produktlabel der Stiftung Farbe erfolgt. Im Kapitel 7.4 wird ein mögliches Vorgehen präsentiert für die praktische Durchführung einer emissionsbasierten Produktbewertung und im Kapitel 7.6 ein Vorschlag gemacht, wie die Ergebnisse der Emissionsmodellierung für eine Produktbewertung verwendet werden könnten.

7.2 Bestehende Bewertungsmethodik der Umweltetikette

Die Umweltetikette der Schweizer Stiftung Farbe beurteilt im Aussenbereich Fassadenfarben sowie Lacke, Holz- und Bodenbeschichtungen und Holzschutzmittel. Abbildung 23 zeigt das Bewertungsraster für Lacke, Holz- und Bodenbeschichtungen und Holzschutzmittel. Darin ersichtlich sind die aktuell gültigen Bewertungskriterien gemäss Ausführungsreglement (Schweizer Stiftung Farbe, 2023).

Kriterien/ Kategorie	wasser- verdünnbar / lösemittel- verdünnbar	Aromaten- freiheit	Kenn- zeichnungs- freiheit	VOC-arm ¹⁾			Arm an sensibilisierenden, stark umweltgef. u. CMR-Stoffen	> 95 % aus nach- wachsenden Rohstoffen ²⁾	Kann Filmschutz gegen Algen- und Pilzbefall enthalten ³⁾ (ggf. Angabe Umweltbelastung ⁴⁾)	Erfüllt technische Anforderungen ⁵⁾
				Stufe 3	Stufe 2	Stufe 1				
A	VOC-arm ⁶⁾ (wv / high solid)	X	X			X	X	X	kein	x
B		X	X			X	X		kein	x
C		X	X		X				x (niedrig)	x
D		X			X				x (mittel)	x
E⁷⁾		X			X				x (hoch)	x
E⁷⁾	lv / wv	X	X	X					k.A.	x
F		X							k.A.	x
G									k.A.	k.A.

1) Die jeweiligen Grenzwerte sind im Reglement festgelegt
 2) Definition laut Reglement: Nachwachsende Rohstoffe, mineralische Rohstoffe und Wasser
 3) Produkte können biozide Wirkstoffe zum Schutz von Beschichtungen (Filmschutzmittel) gemäss Reglement Kapitel 2.3.6 enthalten
 4) Falls Filmschutzmittel enthalten: Quantifizierung der Umweltbelastung durch Filmschutzmittel. Erläuterungen gemäss Reglement Kapitel 2.3.6
 5) Die technischen Anforderungen sind im Reglement festgelegt
 6) Wasserverdünnbare, "high solid"- oder 100%-Systeme
 7) Produkte der Kategorie E sind entweder wasserverdünnbare Systeme mit Filmschutz gegen Algen- und Pilzbefall (hohe Umweltbelastung)
 -ODER- lösemittelverdünnbare Systeme, die kennzeichnungsfrei und VOC-arm sind

Abbildung 23: Stiftung Farbe Schweiz, Bewertungsraster für Lacke, Holz- und Bodenbeschichtungen und Holzschutzmittel. (Verwendung mit freundlicher Genehmigung Stiftung Farbe).

In die Bewertung fliesst unter anderem eine Beurteilung von Inhaltsstoffen ein. Unter den «problematischen Stoffen» bewertet die Stiftung Farbe flüchtige organische Verbindungen (VOC sowie Aromaten), Inhaltsstoffe, welche als sensibilisierend, stark

umweltgefährdend oder als CMR-Stoff eingestuft sind, sowie biozidhaltige Filmschutzmittel. Ebenso wird beurteilt, ob das Produkt gemäss der schweizerischen Chemikaliengesetzgebung mit Gefahrensymbolen gekennzeichnet werden muss. Einzig bei den Filmschutzmitteln wird unter dem Kriterium «Umweltbelastung durch Filmschutzmittel» das Risiko einer Freisetzung grob eingestuft. Es handelt sich dabei um eine qualitative Einschätzung. Sie ist abhängig von den eingesetzten Wirkstoffen, deren Gehalt im Produkt und der Abbaubarkeit der Wirkstoffe in der Umwelt. Zudem wird die Einbettungsform einbezogen, beispielsweise ob die Biozide im Produkt verkapselt vorliegen oder nicht (Abbildung 24). Daraus ergeben sich vier Klassen einer möglichen Umweltbelastung durch filmschützende Biozide (kein, niedrig, mittel, hoch) gemäss Abbildung 24. Bei den Holzschutzmitteln erfolgt keine vergleichbare Bewertung. Wasserverdünnbare Holzschutzmittel werden immer in Kategorie F und lösemittelverdünnbare in Kategorie G eingestuft. Topfkonservierungsmittel (z.B. BIT, CMIT/MIT) werden in der Bewertung der Stiftung Farbe nicht beurteilt, sofern ihre Konzentration im Produkt einen stoffspezifischen Höchstwert nicht überschreitet.

Kategorie	Mögliche Umweltbelastung durch Filmschutz	Verkapselung o.ä.	Mögliche Wirkstoffe	Halbwertszeit DT ₅₀	Höchstwert je Wirkstoff (ppm)	Gesamtgehalt aller Wirkstoffe (ppm)
A–B	Keine	-	-	-	-	-
C	Niedrig	Ja	DCOIT, IPBC, OIT, Zinkpyrithion	Kurz	2000	2000
D	Mittel	Ja	Diuron, Isoproturon, Terbutryn	Lang	1000	2000
E–G	Hoch	Nicht vorgeschrieben	DCOIT, IPBC, OIT, Zinkpyrithion, Diuron, Isoproturon, Terbutryn	Alle zugelassen	k.A.	k.A.

Abbildung 24: Bewertung Filmschutzmittel in Lacken, Holz-, Bodenbeschichtungen und Holzschutzmitteln, Schweizer Stiftung Farbe Schweiz. (Verwendung mit freundlicher Genehmigung Stiftung Farbe).

7.3 Klassierung der untersuchten Produkte mit bestehender Methodik der Umweltetikette

Die untersuchten Produkte wurden mit den Kriterien der Stiftung Farbe für Filmschutzmittel bewertet (siehe Tabelle 9). Im folgenden Kapitel 7.4 wird eine emissionsbasierte Bewertung vorgeschlagen, die sich mit der qualitativen Methodik vergleichen lässt. Bei den untersuchten Grundierungen und der Druckimprägnierung handelt es sich um Holzschutzmittel (Tabelle 1). Bei den Holzschutzmitteln erfolgt gemäss den Kriterien der Stiftung Farbe keine differenzierte Beurteilung der möglichen Umweltbelastung durch die Freisetzung von Bioziden (Kapitel 7.2). Dementsprechend wurde für diese Produkte «keine Bewertung» vermerkt.

Die Grundierungen wurden jeweils in Kombination mit einer Lasur als Deckschicht untersucht. Dies ist ein Unterschied zur Bewertung für das Umweltzeichen, die immer

produktspezifisch und nicht systembezogen erfolgt. Da jedoch die Systeme die Umweltwirkung bedingen, ist die Systembetrachtung näher an der Praxis. Die Konzentrationen der Wirkstoffe sind aus Gründen der Vertraulichkeit in Tabelle 9 nicht aufgeführt.

Tabelle 9: Beurteilung der Produkte mit Filmschutzmittel gemäss den Kriterien der Stiftung Farbe.

Produkt	Anwendungszweck	Wirkstoffe	Klassierung Einzelstoffe	Gesamtklassierung Filmschutz
LA1	Lasur	Diuron	Hoch	Hoch
		IPBC	Niedrig	
		OIT	Niedrig	
		MIT	Topfkonservierer	
		Natriumpyrithion	Beurteilungswert fehlt	
LA2	Lasur	IPBC	Niedrig	Niedrig
		OIT	Niedrig	
		MIT	Niedrig	
		BIT	Niedrig	
DL1	Decklack	Diuron	Hoch	Hoch
		IPBC	Niedrig	
		OIT	Niedrig	
		Natriumpyrithion	Beurteilungswert fehlt	
DI1	Druckimprägnierung	Polymeres Betain	Holzschutzmittel	Keine Bewertung
		Cyproconazol		
		Thiacloprid		
G/L1	Grundierung	IBPC	Holzschutzmittel	Keine Bewertung
		Tebuconazol		
		Permethrin		
	Lasur	IBPC	Niedrig	Niedrig
G/L2	Grundierung	IBPC	Holzschutzmittel	Keine Bewertung
		Tebuconazol		
		Permethrin		
		Polymers Betain		
	Lasur	IBPC	Niedrig	Niedrig
G/L3	Grundierung	Propiconazol	Holzschutzmittel	Keine Bewertung
		IBPC		
		BIT		
	Lasur	MIT	Keine	Keine
		BIT	Keine	
		BIT/MIT	Keine	

7.4 Klassierung für eine emissionsbasierte Bewertung

Die emissionsbasierte Bewertung bietet die Möglichkeit, die Kriterien Filmschutz, Holzschutz und die mit ihrem Einsatz verbundene Gewässerbelastung auf Basis der Emissionen zu beurteilen. Im Kapitel 5.4.2 wurde eine dreistufige und eine vierstufige

Bewertung für Produkte definiert. Tabelle 10 zeigt einen Vorschlag, wie die 3-stufige Bewertung in eine Klassierung für den Filmschutz der Stiftung Farbe überführt werden kann und Tabelle 11 für die 4-stufige Bewertung.

Tabelle 10: Mögliche Verwendung der 3-stufigen Bewertung für die Klassierung des Filmschutzes der Stiftung Farbe.

3-stufige emissionsbasierte Produktbewertung	Klassierung Filmschutz Stiftung Farbe
Stufe 1	Niedrig
Stufe 2	Mittel
Stufe 3	Hoch

Tabelle 11: Mögliche Verwendung der 4-stufigen Bewertung für die Klassierung des Filmschutzes der Stiftung Farbe.

4-stufige emissionsbasierte Produktbewertung	Klassierung Filmschutz Stiftung Farbe
Stufe 1	Kein
Stufe 2	Niedrig
Stufe 3	Mittel
Stufe 4	Hoch

7.5 Vergleich der emissionsbasierten Bewertung mit der Bewertung der Umweltetikette

In Tabelle 12 sind alle untersuchten Produkte mit ihren Bewertungen aufgeführt. Die Spalte «Gesamtklassierung Filmschutz» enthält die qualitative Bewertung gemäss aktueller Methodik der Stiftung Farbe. Die beiden folgenden Spalten zeigen die Einstufung gemäss Kapitel 5.4.2. Ob eine 3-stufige oder eine 4-stufige Bewertung gewählt wird, spielt für die geprüften Produkte keine Rolle. Alle Produkte, welche die Stufe 1 oder 2 zugeteilt erhalten, erreichen diese unabhängig davon, ob eine 3-stufige oder eine 4-stufige Bewertung vorgenommen wird. Alle Produkte, die in der 3-stufigen Bewertung die Stufe 3 erreichen, erhalten in der 4-stufigen Bewertung die Stufe 4, also in beiden Bewertungsskalen die schlechteste Stufe.

In Tabelle 13 wurden die vorgeschlagenen Klassierungen aus Tabelle 10 und Tabelle 11 verwendet, um die in der Studie untersuchten Produkte mit emissionsbasierten Klassen «Keine», «niedrig», «mittel» und «hoch» zu versehen. Eine Schwierigkeit ergibt sich daraus, dass Systeme aus Grundierung und Deckschicht bestehend untersucht wurden, die Produkte für die Umweltetikette jedoch getrennt klassiert würden. Aus den Angaben der Hersteller zu den in den Produkten enthaltenen Wirkstoffen ist jedoch bekannt, dass die festgestellten Emissionen überwiegend aus den Grundierungen stammen müssen. Somit war eine Abschätzung möglich, wie die Lasuren allein vermutlich klassiert würden. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen für die Deckschichten würden alle Produkte mit der 3-stufigen emissionsbasierten Bewertung gleich klassiert wie mit der bestehenden qualitativen Bewertung der Umweltetikette.

Tabelle 12: Beurteilung der Produkte mit Filmschutzmittel gemäss den Kriterien der Stiftung Farbe und Vergleich mit den Stufen der emissionsbasierten Produktbewertung.

Produkt	Anwendungszweck	Gesamtklassierung Filmschutz	3-stufige emissionsbasierte Bewertung	4-stufige emissionsbasierte Bewertung
LA1	Lasur	Hoch	Stufe 3	Stufe 4
G/L1	Grundierung	Holzschutzmittel: Klasse F oder G	Stufe 2	Stufe 2
	Lasur	Niedrig		
G/L2	Grundierung	Holzschutzmittel: Klasse F oder G	Stufe 2	Stufe 2
	Lasur	Niedrig		
G/L3	Grundierung	Holzschutzmittel: Klasse F oder G	Stufe 3	Stufe 4
	Lasur	Keine		
LA2	Lasur	Niedrig	Stufe 1	Stufe 1
DL1	Decklack	Hoch	Stufe 3	Stufe 4
DI1	Druckimprägnierung	Holzschutzmittel: Klasse F oder G	Stufe 2	Stufe 2

Anders verhält es sich, wenn eine 4-stufige Bewertung gewählt würde. Gemäss diesem Vorschlag können sich auch biozidhaltige Produkte gleich gut klassieren wie biozidfreie, wenn in der Simulation keine Überschreitung von toxikologischen Grenzwerten auftritt. Dies führt dazu, dass alle Produkte, die in der bestehenden Methodik eine Klassierung von «niedrig» für den Filmschutz erhalten, eine emissionsbasierte Klassierung von «Keine» erhalten würden.

Interessant ist auch die Klassierung der Holzschutzmittel. Würden diese mit der vorgeschlagenen emissionsbasierten Bewertung in Kombination mit der Filmschutzmethodik bewertet, würden sich alle Produkte gegenüber heute verbessern. Zwei Grundierungen wie auch die Druckimprägnierung würden die Klassierung «Mittel» erhalten, eine Grundierung die Klassierung «Hoch». Wobei die Klassierung der Druckimprägnierung mit gewissen Unsicherheiten behaftet ist, da der Prüfkörper zusätzlich mit einem Decklack versehen wurde.

Tabelle 13: Beurteilung der Produkte mit Filmschutzmittel gemäss den Kriterien der Stiftung Farbe, sowie der emissionsbasierten Klassierung.

Produkt	Anwendungszweck	Gesamtklassierung Filmschutz	3-stufige emissionsbasierte Klassierung	4-stufige emissionsbasierte Klassierung
LA1	Lasur	Hoch	Hoch	Hoch
LA2	Lasur	Niedrig	Niedrig	Keine
G/L1	Grundierung	Holzschutzmittel: Klasse F oder G	Mittel (Lasur allein evtl. Niedrig)	Niedrig (Lasur allein evtl. Keine)
	Lasur	Niedrig		
G/L2	Grundierung	Holzschutzmittel: Klasse F oder G	Mittel (Lasur allein evtl. Niedrig)	Niedrig (Lasur allein evtl. Keine)
	Lasur	Niedrig		
G/L3	Grundierung	Holzschutzmittel: Klasse F oder G	Hoch (Lasur allein evtl. Keine)	Hoch (Lasur allein evtl. Keine)
	Lasur	Keine		
DL1	Decklack	Hoch	Hoch	Hoch
DI1	Druckimprägnierung	Holzschutzmittel: Klasse F oder G	Mittel	Niedrig

7.6 Mögliches Vorgehen für die Produktbewertung

7.6.1 Bewertungsschritte

Für die Integration in das Umweltzeichen der Stiftung Farbe sind mehrere Vorgehen denkbar. Zwei Varianten werden nachfolgend vorgeschlagen, wie die 3-stufige, bzw. 4-stufige Bewertung in die Produktbewertung der Stiftung Farbe übernommen werden könnte. Die Bewertung erfolgt gemäss dem Schema in Abbildung 25. Die einzelnen Bewertungsschritte werden in den folgenden Kapiteln kurz erläutert.

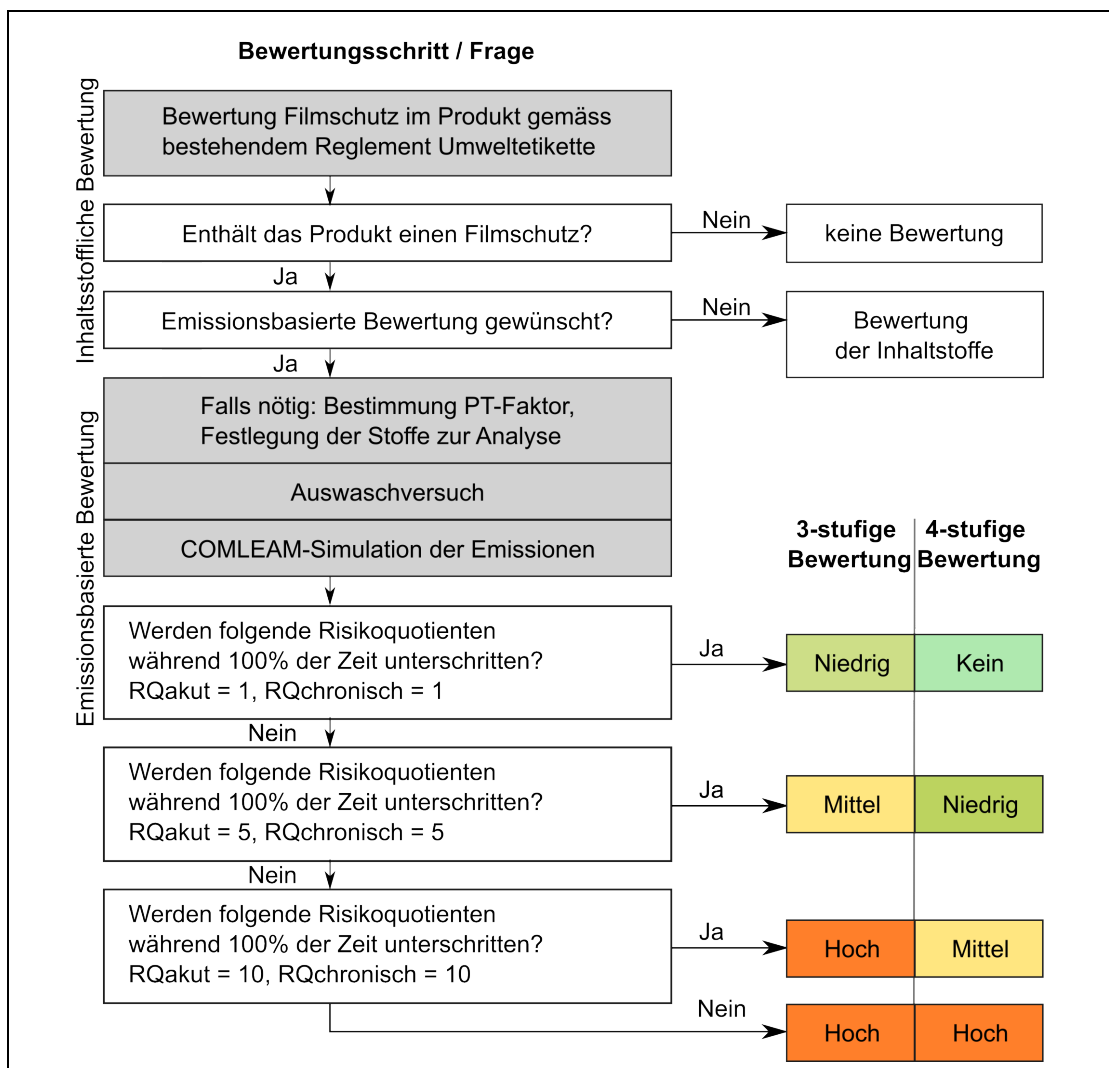


Abbildung 25: Bewertungsschema für die emissionsbasierte Produktbewertung.

7.6.2 Inhaltsstoffliche Bewertung

Ein Hersteller beantragt die Umweltetikette bei der Stiftung Farbe gemäss dem bestehenden Reglement. Wird das Produkt als solches mit Filmschutz in die Klassen C-E eingestuft, kann der Hersteller sich mit einer emissionsbasierten Bewertung verbessern (Auswaschversuch und Expositionsmodellierung).

7.6.3 Emissionsbasierte Bewertung

Falls eine emissionsbasierte Bewertung gewünscht wird, erfolgt diese in fünf Schritten:

1. Der PT-Faktor (Kapitel 3.4) wird für alle relevanten organische Stoffe im Produkt berechnet. Die Berechnung erfolgt mit den chronischen Beurteilungswerten gemäss Kapitel 5.3, bzw. gemäss (Oekotoxzentrum, 2023) für nicht aufgeführte Wirkstoffe. Für die DT_{50} werden die Werte gemäss (Burkhardt et al., 2021a) eingesetzt.
2. Die organischen Substanzen mit der relevantesten Wirkung werden in den Auswaschversuchen analysiert. Die Substanzen werden in der Rangfolge der Anteile sortiert und so viele untersucht, bis die Summe der Anteile 90 % der Gesamtwirkung erreicht.
3. Anstriche auf Holz und Holzschutzmittel werden mit Immersionstests gemäss EN 16105 untersucht. Die Versuche sind durch ein Labor durchzuführen, dass für die spezifizierte Norm akkreditiert ist oder durch die Vergabestelle der Produktlabel als geeignet für die Durchführung der Versuche deklariert ist.
4. Die Umweltbelastung wird in COMLEAM modelliert für die Substanzen, die im Laborversuch emittiert wurden. Aus den Laborversuchen wird die Emissionsfunktion abgeleitet (Kapitel 4.2.1). Die Modellparameter in COMLEAM sind gemäss Tabelle 14 definiert. Mit den Wetterdaten vom Standort Zürich (Tabelle 7) für Niederschlag und Wind wird die fünfjährige Simulation der Emissionen durchgeführt (1.1.2001 bis 31.12.2005).
5. Die Bewertung wird aufgrund der Resultate der COMLEAM-Modellierung vorgenommen. Die Herleitung der Risikoquotienten wird im Kapitel 5 erläutert. Die Bewertung der zeitlichen Anteile über RQakut, bzw. RQchronisch erfolgt mit einer Genauigkeit von 1 Prozent. Das bedeutet, dass das Kriterium eingehalten ist, solange die Werte während mehr als 99.5% der Zeit eingehalten sind. 0.5% zeitliche Überschreitung einer fünfjährigen Zeitreihe entsprechen zirka 9 Tagen. Der Beurteilungswert darf also über die Simulationsdauer während maximal 9 Tagen überschritten werden.

Tabelle 14: Gebäude und Umgebungsparameter EZG 5 l/s.

Gebäudeparameter	Bezeichnung in COMLEAM	Wert / Mass	Einheit
Länge / Breite / Höhe Gebäude		17.5 / 7.5 / 10	m
Dachfläche		145	m ²
Zusätzliche versiegelte Fläche		400	m ²
Abflusskoeffizient Fassade / Dach	runoffcoefficient	0.85 / 1	-
Emissionsfunktion	Log	$E_{\{cum\}} = a * \ln(1 + b * q_{\{c, cum\}})$	mg/m ²
Umgebungsparameter			
Simulationsbeginn	startdate	1.1.2001	-
Simulationsende	enddate	1.1.2006	-
Abfluss des Gewässers pro Gebäude	surfacewaterq347	5	l/s
Wetterdatensatz	weatherdatasetname	Zuerich 20 years	-
Schlagregen	wdrct	1	-

8. Synthese

8.1 Grosse Produktunterschiede

Die Laborversuche und Expositionsmodellierungen zeigen, dass Biozide in Lasuren, Decklacken und Holzschutzmitteln produktspezifisch ausgewaschen und zu unterschiedlichen Gewässerbelastungen führen können. Bemerkenswert ist, dass biozidhaltige Produkte nicht zwingend eine Gewässerbelastung erwarten lassen oder diese gering ausfallen kann, sofern die Einsatzmengen oder die Gesamtformulierung des Produkts hinsichtlich geringer Emission optimiert sind. Gleichzeitig wurden Produkte identifiziert, die über einen Zeitraum von fünf Jahren zu einer hohen Gewässerbelastung führen.

Demzufolge liefert eine emissionsbasierte Produktbewertung dem Anwender wertvolle Hinweise für die Produktwahl. Gleichzeitig kann sie den Herstellern als Instrument dienen, um die Umweltbelastung ihrer Produkte während der Nutzungsphase zu minimieren.

8.2 Emissionsbasierte Bewertung durch ein Label als Anreiz für Produktoptimierung

Für Holzfarben bestätigen die Ergebnisse der Studie die Eignung der heutigen qualitativen Bewertung durch die Umweltetikette anhand der Inhaltsstoffe. Eine emissionsbasierte Bewertung würde jedoch Produkte belohnen, die tiefere Wirkstoffkonzentrationen oder besser gebundene Biozide enthalten und somit geringere Emissionen aufweisen als nicht optimierte Produkte. Folglich würde ein Produkt, welches langlebige Biozide enthält (heute Kategorie D oder E), die aber nicht ausgewaschen werden, immer noch Kategorie D oder sogar C erreichen. In diesem Fall würde das Produkt gleich gut bewertet wie ein Produkt mit gut abbaubaren Bioziden, was im jetzigen Konzept der Inhaltsstoffbewertung nicht möglich ist. Dies kann Hersteller motivieren, ihr Produkt zukünftig hinsichtlich Stofffreisetzung in der Umwelt zu optimieren.

Die emissionsbasierte Bewertung würde die Klassierung der Lasuren nur bei der 4-stufigen Bewertung verbessern. Dies liegt an der methodischen Festlegung, Produkte mit geringen Biozidemissionen besser zu klassieren als heute, nicht an speziell reduzierten Emissionen gegenüber vergleichbaren Produkten.

Die Ergebnisse für die geprüften Produkte zeigen auch, dass die 4-stufige Bewertung nicht zu einer zusätzlichen Differenzierung gegenüber der 3-stufigen führt, denn in beiden Vorgehensweisen erfolgt effektiv eine Zuordnung in drei unterschiedliche Klassen (Stufe 1, Stufe 2 und Stufe 4). Daher wird die 3-stufige Bewertung empfohlen, welche für alle biozidhaltigen Produkte die bestmögliche Bewertung «niedrig» ergibt.

8.3 Emissionsbasierte Bewertung einsetzbar für die Produktoptimierung

In der Produktentwicklung spielt die Wirksamkeit des Filmschutzes eine zentrale Rolle. Diese soll über einen möglichst langen Zeitraum eine biologische Besiedelung der geschützten Oberfläche verhindern. Eine Reduktion der Wirkstoffmenge im Produkt steht diesem Ziel oft gegenüber. Die hier vorgestellte Methodik bewertet die effektiven Emissionen. Dies ist auch die relevante Grösse für die unerwünschte Umweltwirkung.

Für die Produktentwicklung liefert die emissionsbasierte Modellierung eine mit wenig Aufwand einsetzbare Bewertungsmethode. Emissionen aus Produkten können mit Auswaschversuchen festgestellt und mit dem standardisierten Modell auf ihre Umweltwirkung untersucht werden. Das liefert eine gut zugängliche Möglichkeit, den Erfolg von Massnahmen zur Reduktion der Emissionen grob abzuschätzen. Der Hersteller erhält damit mehr Möglichkeiten in der technischen Entwicklung als die reine Reduktion der Einsatzmenge. Eine bessere Bindung der Biozide im Produkt reduziert die Emissionen ebenso. Reduzierte Emissionen bedeuten auch weniger Wirkstoffverlust im Produkt und geringere Gewässerbelastungen. Damit könnte die langfristige Schutzwirkung bei gleicher Einsatzkonzentration verbessert, oder die Einsatzkonzentration bei gleicher Wirksamkeit reduziert werden.

8.4 Holzschutzmittel: Differenzierte Bewertung in der Umweltetikette

Heute werden Holzschutzmittel in den Stufen F oder G eingeteilt, wobei die Differenzierung nicht von den Bioziden abhängt.

Die Berücksichtigung einer emissionsbasierten Bewertung könnte eine Differenzierung gemäss den gemessenen Biozidemissionen schaffen. So könnten Holzschutzmittel mit geringen Emissionen besser eingestuft werden als solche mit hohen Emissionen.

Auch auf Druckimprägnierungen wäre das Konzept anwendbar. Mit der 3-stufigen Bewertung könnte eine Differenzierung in drei Klassen des Labels erreicht werden. Bei welchen Buchstaben des Labels diese angesiedelt wären, müsste durch die Stiftung Farbe erarbeitet werden. In der VSA-Richtlinie zur Regenwasserbewirtschaftung ist für pestizidhaltige Beschichtungen ebenfalls eine Klassierung in drei Belastungsklassen festgelegt (gering, mittel, hoch) (VSA, 2019). Beide Klassen wären damit konsistent.

Der Vorteil einer solchen Anpassung würde im Anreiz für die Hersteller bestehen, die Biozidmenge zu reduzieren, um eine bessere Einstufung zu erhalten. Im Optimierungsprozess Wirksamkeit vs. Umweltwirkung würde die Umweltwirkung so mehr Gewicht erhalten.

8.5 PT-Faktor liefert gutes Mass für relevante Emissionen

Die mithilfe des PT-Faktors berechnete Relevanz der einzelnen Wirkstoffe wurde in den Auswaschversuchen und den Emissionsmodellierungen bestätigt. Die relevanten Emissionen wurden jeweils von denjenigen Wirkstoffen ausgelöst, die die höchsten PT-Faktoren im Produkt auswiesen

9. Offene Fragestellungen

9.1 Polymeres Betain

Polymeres Betain konnte in der vorliegenden Studie nicht analysiert und bewertet werden. Der Wirkstoff ist noch wenig verbreitet in den Produkten vorhanden. Es stellen sich eine Reihe von Fragen bezüglich der Umweltwirkung:

- Wie stark wird polymeres Betain während der Nutzung in die Umwelt emittiert?
- Wird es in der Umwelt abgebaut? Welche Abbauprodukte entstehen dabei?

Auch bezüglich Laboranalytik stellen sich Fragen. Derzeit kann polymeres Betain nicht kostengünstig im Labor analysiert werden. Dies wäre jedoch eine Voraussetzung, um die oben genannten Fragestellungen überhaupt anzugehen.

9.2 Emissionen aus Druckimprägnierungen

Das Ergebnis der Druckimprägnierung ist mit grösseren Unsicherheiten behaftet. Zum einen war ein Decklack auf den Prüfkörper aufgebracht, zum anderen waren die Stirnflächen nicht abgedeckt. Der Prüfkörper war aus Weisstanne. Diese Holzart führt erfahrungsgemäss zu einer guten Tränkung, also einer hohen Biozidaufnahme pro Volumen (Thalmann, 2023). Die Ergebnisse geben darum lediglich einen Hinweis, dass auch Druckimprägnierungen möglicherweise zu relevanten Emissionen in die Umwelt führen könnten. Durch eine Untersuchung mehrerer druckimprägnierter Bauteile sollte die Spannbreite dieser Emissionen vertieft abgeklärt werden. Für die Abschätzung der Umweltwirkung steht mit COMLEAM und dem entwickelten Expositionsszenario eine geeignete Methode zur Verfügung.

10. Literaturverzeichnis

- R. Ashauer, R. Kuhl, E. Zimmer & M. Junghans (2020) *Effect Modeling Quantifies the Difference Between the Toxicity of Average Pesticide Concentrations and Time-Variable Exposures from Water Quality Monitoring*. Environmental Toxicology and Chemistry, 39(11), 2158–2168.
- BFS (2020) *Arealstatistik Land Cover (NOLC04)*. Abgerufen 1. Oktober 2020, von <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/nomenklaturen/arealstatistik/nolc2004.html>
- M. Burkhardt, S. Gehrig, M. Rohr & O. Tietje (2020) *Auswaschung von Bioziden aus Materialien und Exposition in der Umwelt - Berechnung von ESD-Szenarien und Modellierung mit der Software COMLEAM. Bericht im Auftrag des Schweizer Bundesamts für Umwelt (BAFU)*. (S. 86). Rapperswil: OST Ostschweizer Fachhochschule.
- M. Burkhardt, M. Klingler, D. Savi, M. Rohr & O. Tietje (8. März 2021a) *Entwicklung einer emissionsbasierten Bauproduktbewertung - Anwendung des Konzepts für Dachbahnen und Fassadenputze* (Schlussbericht). Rapperswil und Zürich.
- M. Burkhardt, M. Klingler, D. Savi, M. Rohr, O. Tietje & M. Junghans (2021b) *Entwicklung einer emissionsbasierten Bauproduktbewertung – Anwendung des Konzepts für Dachbahnen und Fassadenputze*. Zürich: Schweizer Bundesamt für Umwelt BAFU, Sektion Konsum und Produkte; Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB, Fachstelle Nachhaltiges Bauen.
- CEN/TS 15119-1:2018: *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten. Abschätzung von Emissionen von mit Holzschutzmitteln behandeltem Holz an die Umwelt Holz auf dem Lagerplatz nach der Behandlung und Holzprodukte in Gebrauchsklasse 3 (nicht abgedeckt, ohne Erdkontakt). Laborverfahren* (n. d.)
- C. Dietschweiler & M. Burkhardt (April 2013) *Mengenabschätzung von Bioziden in Schutzmitteln in der Schweiz*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- European Commission (2011) *Guidance Document n°27: Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards*. European Communities.
- European Commission (26. Oktober 2022) *ANNEXES to the Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, Directive 2006/118/EC on the protection of groundwater against pollution and deterioration and Directive 2008/105/EC on environmental quality standards in the field of water policy*.
- Finland (2015) *Assessment Report Propiconazol*. (European Commission, Hrsg.). Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. Abgerufen von <https://echa.europa.eu/documents/10162/a2efc9fe-98ed-de5e-fe77-e87b8822b6d9>
- I. Hauzenberger, M. Eckerstorfer & P. Steinbichl (2020) *Überwachungsschwerpunkt Biozide 2019. Biozide in Holzschutzmitteln* (REP-0728). Wien: Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2020.
- M. Junghans, P. Kunz & I. Werner (2013) *Toxizität von Mischungen*. Aqua & Gas, (5), 54–61.
- U. Kasser, M. Klingler & D. Savi (2015) *Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen*. Zürich: Büro für Umweltchemie.
- Lignum, Holzwirtschaft Schweiz (2018) *Schweizerisches Holzschutzmittelverzeichnis*. BAFU Bundesamt für Umwelt.
- National Library of Medicine (2023) *PubChem Tebuconazole (compound)*. Abgerufen 7. November 2023, von <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Tebuconazole>

- OECD (2011) *Test No. 201: Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test*. Abgerufen von <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/9789264069923-en>
- OECD (2012) *Test No. 211: Daphnia magna Reproduction Test*. Abgerufen von <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/9789264185203-en>
- OECD (2013) *Test No. 210: Fish, Early-life Stage Toxicity Test*. Abgerufen von <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/9789264203785-en>
- Oekotoxzentrum (2023) *Vorschläge für akute und chronische Qualitätskriterien für ausgewählte schweizrelevante Substanzen*. Abgerufen von <http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/vorschlaege>
- H. Schmid (2023) *Lignatec 35/2023 - Holzschutz im Bauwesen*. Lignum, Holzwirtschaft Schweiz.
- Schweizer Stiftung Farbe (1. Juni 2023) *Ausführungsreglement Umwelt-Etikette UE V, Lacke, Holz- und Bodenbeschichtungen aussen und Holzschutzmittel, Version 2.2*. Schweizer Stiftung Farbe.
- Schweizerischer Bundesrat *Gewässerschutzverordnung*, 814.201 GSchV (2020).
- SN EN 113-1:2020 *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Prüfverfahren gegen Holz zerstörende Basidiomyceten - Teil 1: Bewertung der bioziden Wirksamkeit von Holzschutzmitteln* (n. d.)
- SVGW (19. Januar 2012) *Abwasserentsorgung*. In SVGW Jahrbuch 2012 (S. 4). Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches.
- G. Thalmann (28. September 2023) *Rückmeldung Begleitgruppe: Imprägnierwerk Willisau*.
- O. Tietje, M. Burkhardt, M. Rohr, N. Borho & U. Schoknecht (April 2018) *Emissions- und Übertragungsfunktionen für die Modellierung der Auslagerung von Bauprodukten*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Abgerufen von <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>
- UBA (Hrsg.) (2013) *Leitfaden zur Anwendung der CLP-Verordnung, Das neue Einstufungs- und Kennzeichnungssystem für Chemikalien nach GHS*. Umweltbundesamt Fachgebiet IV 1.1, Postfach 14 06, 06844 Dessau-Roßlau.
- Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) (2019) *Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter*.
- D. Wicke, M. Burkhardt, M. Rohr, R. Pascale, R. Tatis-Muvdi, P. Zerball-van Baar & U. Dünnebier (2021) *Bauen und Sanieren als Schadstoffquelle in der urbanen Umwelt* (UBA Texte). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- I. Wittmer, M. Junghans, H. Singer & C. Stamm (2014) *Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen* (Studie im Auftrag des BAFU). Dübendorf: Eawag.

A Auswaschversuche

A.1 Prüfkörperherstellung

Die Prüfkörper wurden von den Herstellern gemäss Angaben in den Sicherheitsdatenblätter mit der Menge beschichtet, wie in Tabelle 15 aufgeführt.

Der Decklack von Produkt DI1 wurde mengenmässig nicht erfasst, da der Decklack aus Versehen aufgetragen wurde. Deshalb ist die aufgetragene Menge als «nicht bekannt» festgehalten.

Tabelle 15: Aufgetragene Mengen je Produkt bei der Prüfkörperherstellung

Abkürzung	Produkt	Prüfkörper-Nr	Aufgetragene Menge [kg/m ²]
LA1 (einschichtig)	Lasur	3	0.277
LA2 (einschichtig)	Lasur	7	0.189
DL1 (einschichtig)	Decklack	5	0.254
DI1 (zweischichtig)	Druckimprägnierung	13	0.283
	Decklack	13	Nicht bekannt
G/L1 (zweischichtig)	Grundierung	11	0.053
	Lasur	11	0.11
G/L2 (zweischichtig)	Grundierung	12	0.089
	Lasur	12	0.138
G/L3 (zweischichtig)	Grundierung	2	0.125
	Lasur	2	0.130

A.2 Resultate

Auswaschresultate von IPBC und OIT für alle sieben getesteten Produkte bzw. Systeme. DL1 enthält die Biozide Diuron, OIT und IPBC, welche nicht in DI1 enthalten sind. Für die Modellierung der Umweltwirkung wurden die Emissionen von OIT und IPBC für das Produkt DI1 daher auf Null gesetzt.

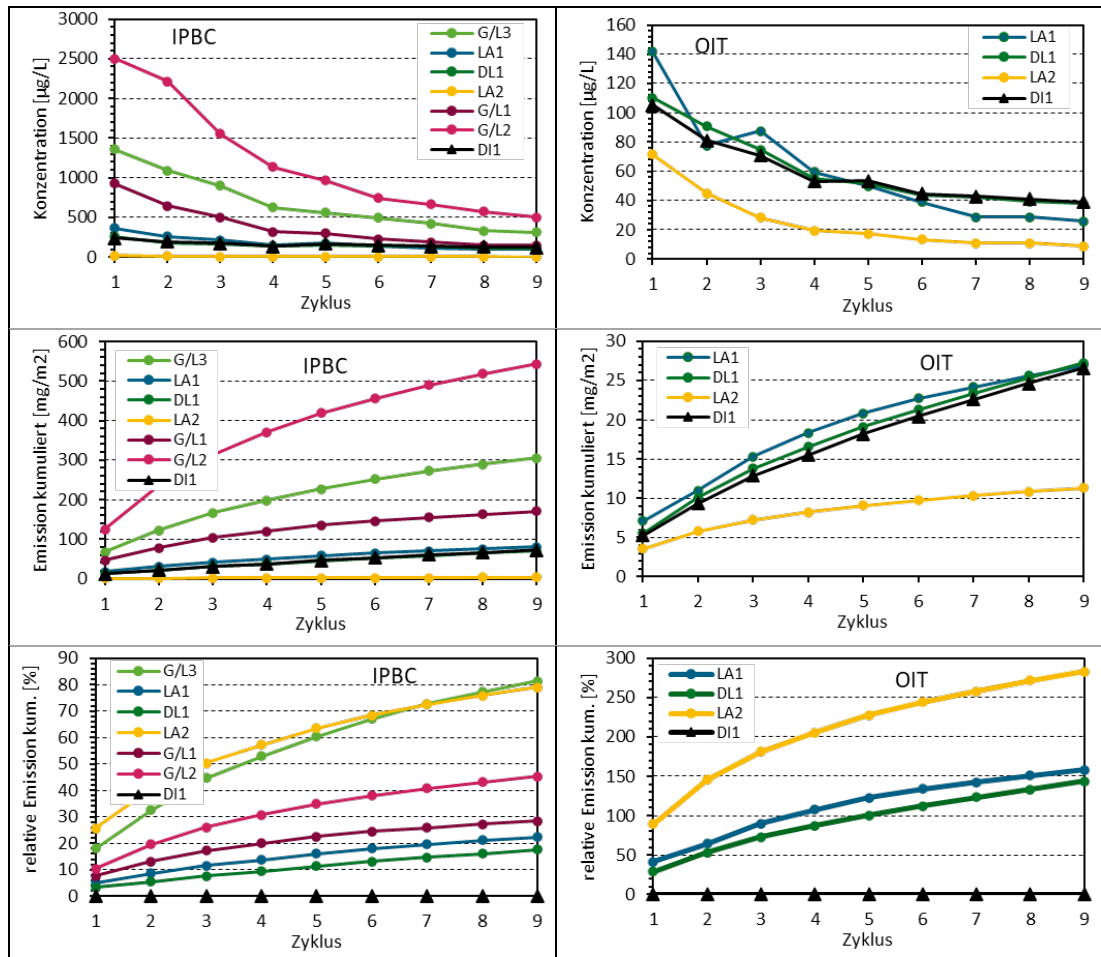


Abbildung 26: Auswaschresultate von IPBC und OIT aller Produkte.

B Emissionsmodellierung

In diesem Anhang sind die Simulationsergebnisse für die Einzelstoffe abgebildet, für die im Hauptbericht zwei Wirkstoffe bewertet wurden. Damit kann nachvollzogen werden, welchen Teil die Einzelstoffe jeweils zur Mischungstoxizität beitragen.

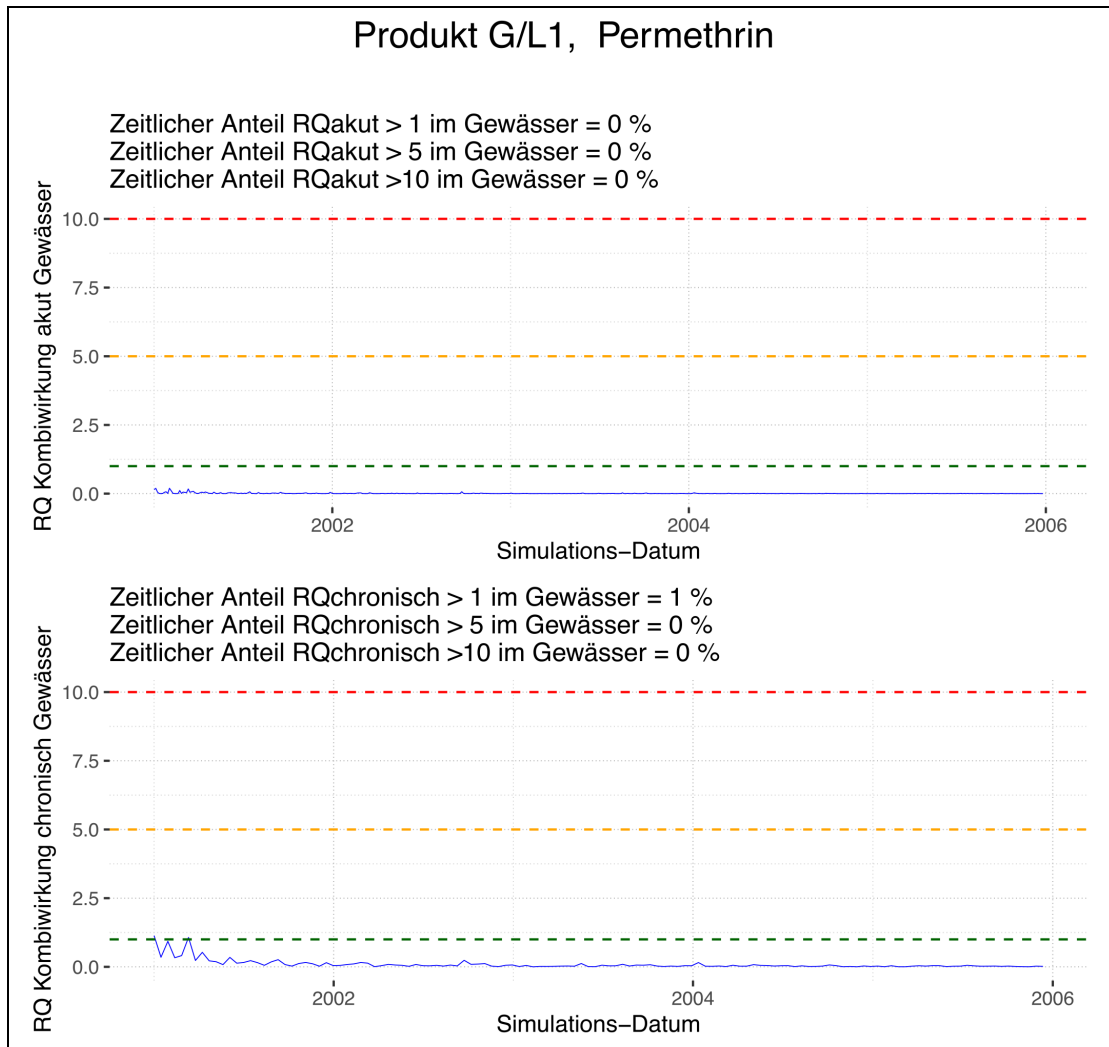


Abbildung 27: Beitrag Einzelstoff Permethrin in G/L1 zur Kombiwirkung.

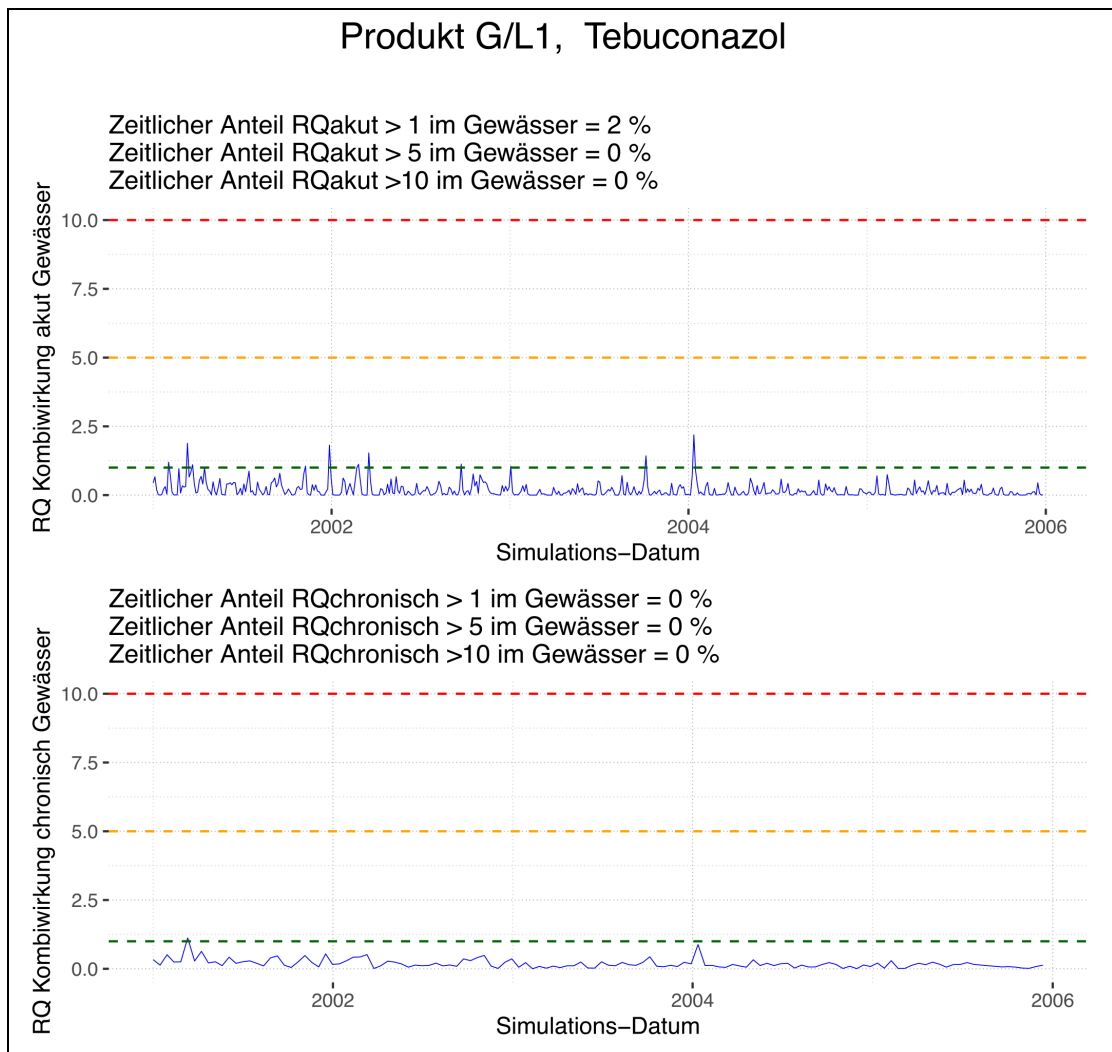


Abbildung 28: Beitrag Einzelstoff Tebuconazol in G/L1 zur Kombiwirkung.

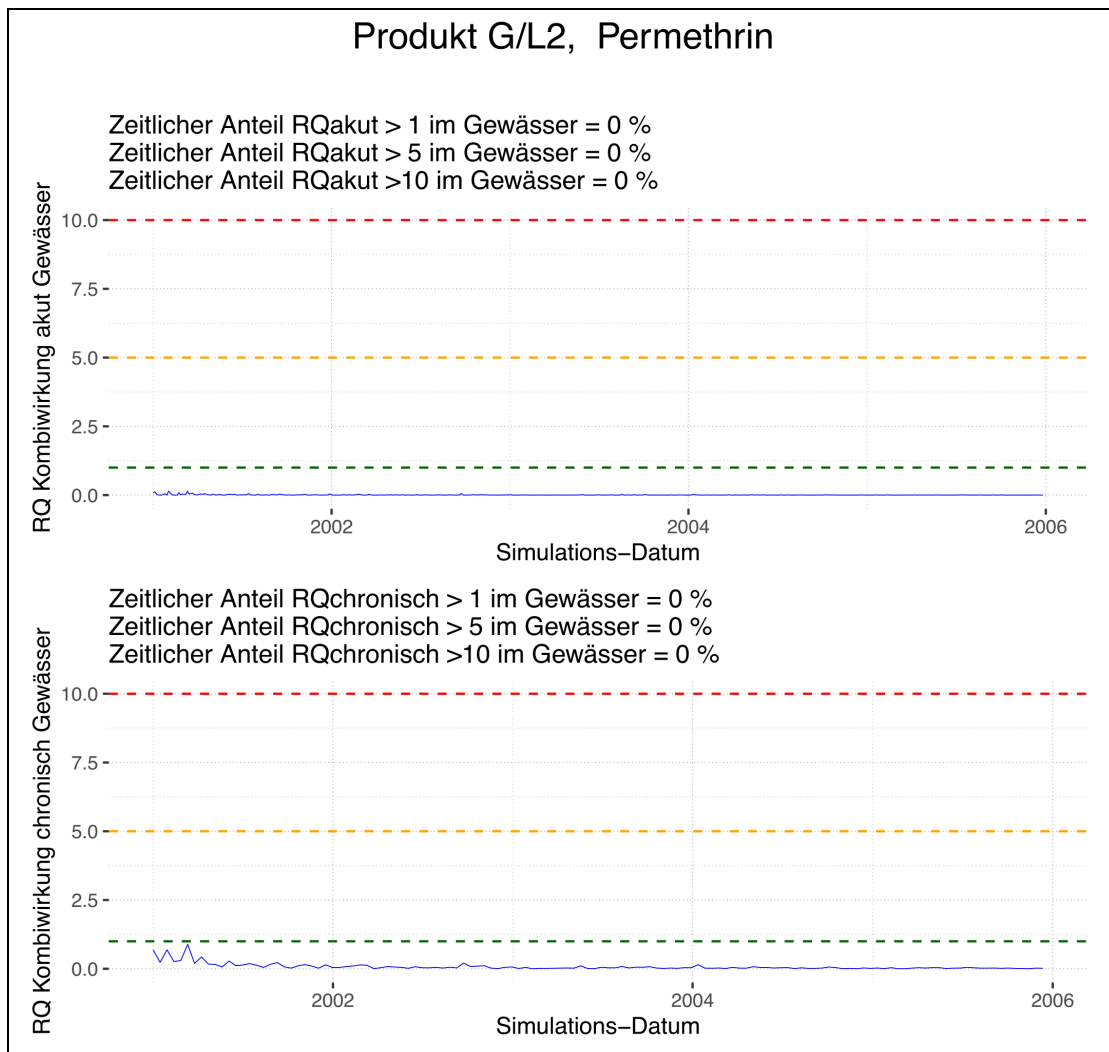


Abbildung 29: Beitrag Einzelstoff Permethrin in G/L2 zur Kombiwirkung.

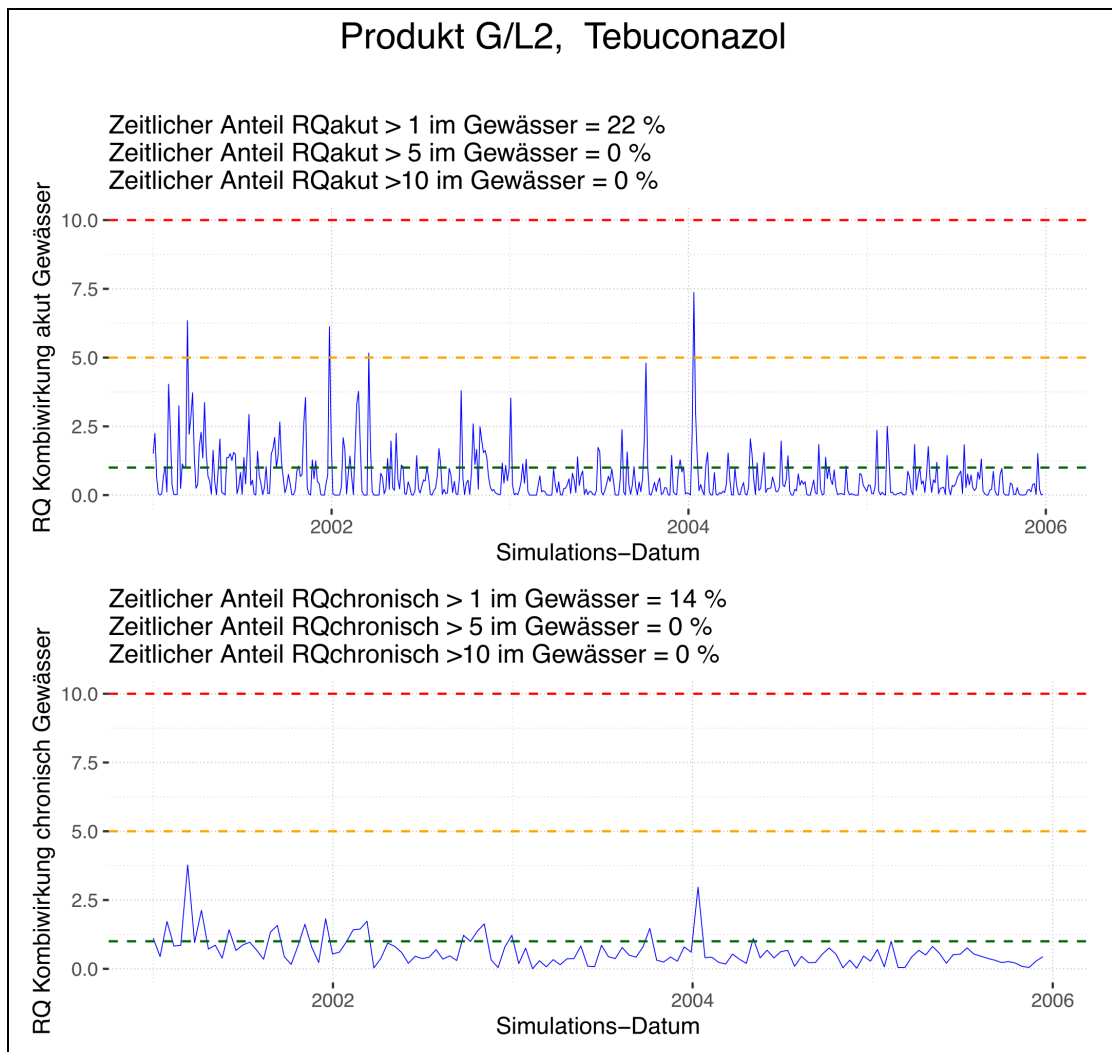


Abbildung 30: Beitrag Einzelstoff Tebuconazol in G/L2 zur Kombiwirkung.

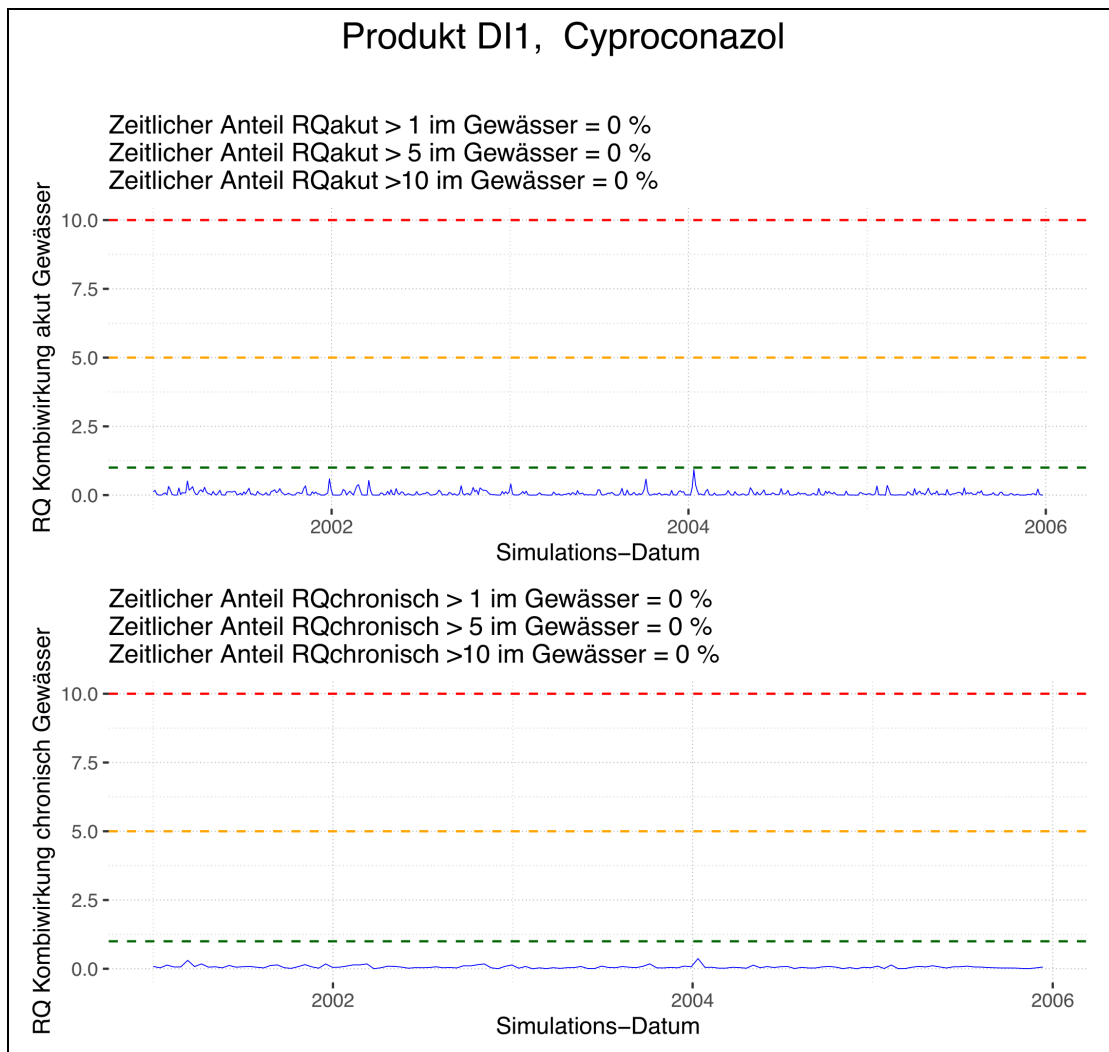


Abbildung 31: Beitrag Einzelstoff Cyproconazol in DI1 zur Kombiwirkung.

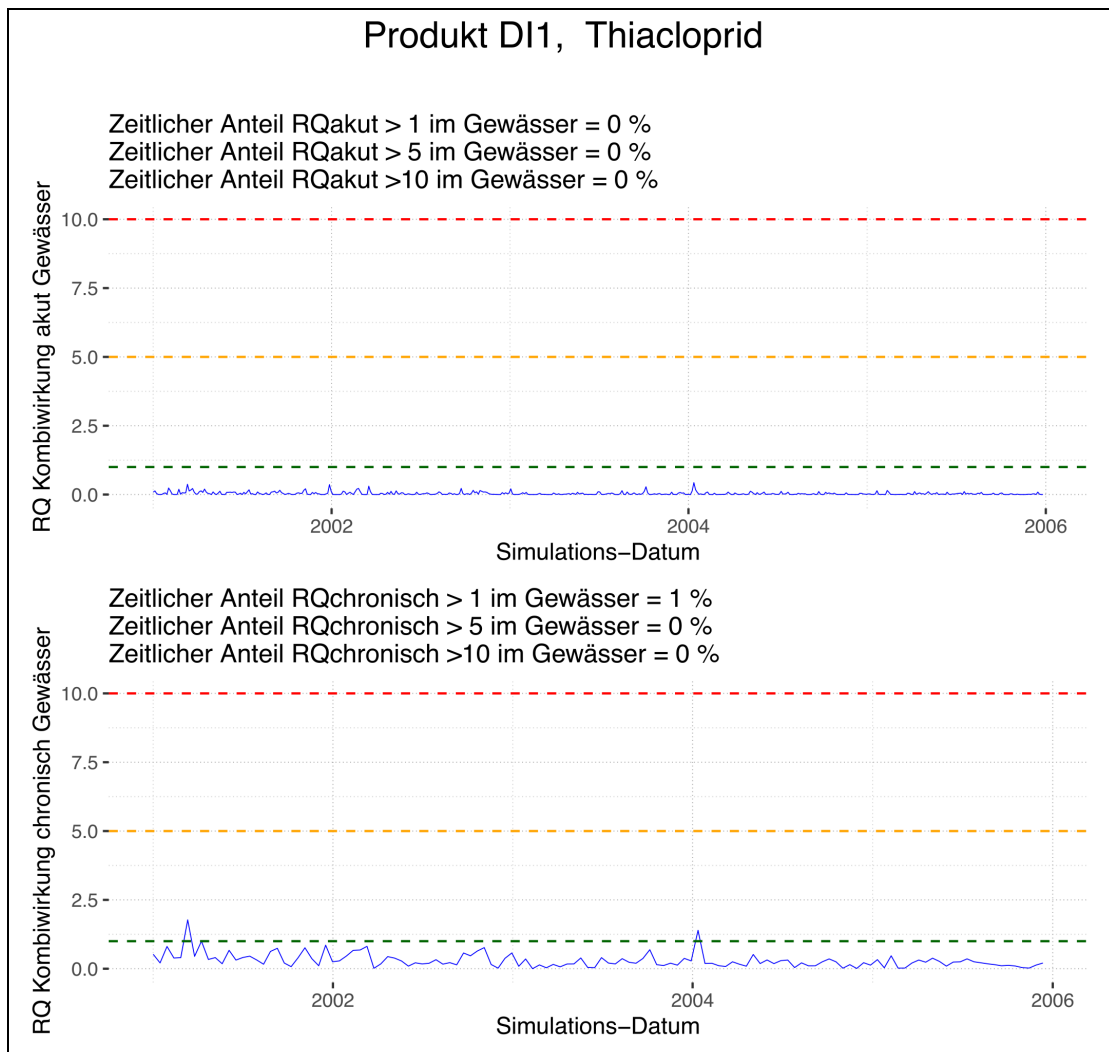


Abbildung 32 Beitrag Einzelstoff Thiacloprid in DI1 zur Kombiwirkung.