

*Integrationsaspekte der Simulation:  
Technik, Organisation und Personal*  
Gert Zülch & Patricia Stock (Hrsg.)  
Karlsruhe, KIT Scientific Publishing 2010

## **Anwenderfreundliche und komplexitätsreduzierte Bewertung und Robustheitsuntersuchung von Lean-Methoden bei kleinen und mittleren Unternehmen**

***Assessment and Robustness Analysis of Lean Production Methods for  
Small and Medium-Sized Enterprises in a User-Friendly and  
Complexity-Reduced Simulation Environment***

Gisela Lanza, Kathrin Peter, Annabel Jondral  
wbk Institut für Produktionstechnik,  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe (Germany)  
lanza@wbk.uka.de, peter@wbk.uka.de, jondral@wbk.uka.de

**Abstract:** Willing to enhance productivity and to ensure their position against competitors from low cost countries small and medium-sized enterprises need to efficiently (re-)configure their production systems. Therefore, various companies plan to introduce Lean Production Methods following the Toyota Production System or Production Systems of further major corporations. Applying Lean Production Methods systematically and in an optimized manner implies quantitative methods to seize their effects on a system's productivity. Moreover, did the consequences of the economic crisis on the engine building industry, e.g. a reduction of demand of 44 % in June to August 2009 compared to the previous year, show that a sustainable and efficient (re-)configuration of production systems with the help of Lean Production Methods is feasible only with knowledge about the range of use depending on varying conditions of a production area. In order to minimize financial risk and associated unprofitable investments as well as to preserve employees varying conditions of a production area can be evaluated using simulation techniques.

### **1 Herausforderungen bei der Simulation von Lean- Methoden in kleinen und mittelständischen Unternehmen**

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) verfügen im Vergleich zu Konzernen häufig über beschränkte finanzielle Ressourcen, geringe Mitarbeiterzahlen und wenig Planungs-Knowhow (vgl. DOMBROWSKI u.a. 2009, S. 5). Auswirkungen des Einsatzes von Methoden schlanker Produktionssysteme (Lean-Methoden) können daher nicht aus Pilotprojekten abgeleitet werden, sondern müssen Produktions-

planern zur gezielten Auswahl zeitnah zur Verfügung gestellt werden. Diesen Anforderungen zur schnellen quantitativen Erfassung der Effekte von Lean-Methoden und deren Abhängigkeiten mit der Leistungsfähigkeit von Produktionssystemen kann nur die Analytik oder Simulationstechnik gerecht werden. Vorteile der Simulation liegen dabei in einer detailgetreuen Modellierung der realen Produktionsbereiche und der einfachen Abbildung sich ändernder Eingangsgrößen eines Systems. Nichts desto trotz bestehen bei den vorhandenen Möglichkeiten zur Modellierung von realen Produktionsbereichen und ausgewählten Lean-Methoden in Simulationsumgebungen – beispielsweise in der Fabrikplanungssoftware Plant Simulation® – Entwicklungspotentiale in Bezug auf die erforderliche Zeit zur Modellerstellung sowie auf benötigte Programmierkenntnisse. Bausteine zur Implementierung verbreiteter Lean-Methoden, z.B. einer Kanban-Steuerung, existieren, sind jedoch bezüglich ihrer Verknüpfungs- und Auswertemöglichkeiten häufig inflexibel. Lean-Methoden, die im Speziellen bei KMU Anwendung finden, wie beispielsweise eine ConWiP (Constant Work in Process)-Steuerung als Auftragsfreigabeverfahren in Produktionsbereichen mit komplexem Materialfluss und einer hohen Variantenanzahl (vgl. LÖDDING 2005, S. 327 ff.), sind in kommerziellen Anwendungen oft nicht implementiert. Das eigenständige Programmieren von Lean-Methoden erfordert Kenntnisse der Produktionsplaner, die aufgrund des breiten Fachwissens von Mitarbeitern in KMU nicht vorausgesetzt werden können. Um die Implementierung flexibler Lean-Methoden in Plant Simulation® dennoch zu ermöglichen, werden am wbk Institut für Produktionstechnik sogenannte Prozessmuster entworfen (vgl. LANZA u.a. 2010). Prozessmuster sind vorprogrammierte Standardschnittstellen zwischen den Unternehmensdaten und dem Simulationsmodell, die dem Planer die Möglichkeit bieten, lediglich durch Einlesen relevanter Eingangsgrößen die Implementierung von Lean-Methoden im Simulationsmodell zu initialisieren und – sofern vorhanden – methodenbestimmende Parameter zu dimensionieren.

Der anwenderfreundlichen und komplexitätsreduzierten Abbildung von Lean-Methoden in Simulationsmodellen folgt im Rahmen der nachhaltigen effizienten Gestaltung von Produktionsbereichen die Auswahl im Einzelfall anzuwendender Methoden. Lean-Methoden, die auf Basis von Analysen bestehender Systeme ausgewählt werden, bringen nach ihrer Einführung häufig nicht den gewünschten Erfolg. Eine Ursache kann sein, dass sich im Laufe der Einführung wesentliche Eingangsgrößen des Produktionssystems geändert haben. Um auch künftige Entwicklungen von Eingangsgrößen eines Produktionssystems in die Untersuchung einzuführender Lean-Methoden aufzunehmen, sollte die Robustheit der einzelnen Methoden gegenüber möglichen Veränderungen untersucht werden. Somit können die nachhaltigsten Lean-Methoden zur Umsetzung identifiziert werden.

## **2 Vorgehensweise der simulativen Abbildung und Robustheitsuntersuchung des Einsatzes von Lean-Methoden**

Zur Bewertung und Optimierung von Lean-Methoden in Produktionssystemen wurde am wbk Institut für Produktionstechnik eine Methodik in fünf Phasen entwickelt (vgl. PETER 2009, S. 85 ff.). Diese Vorgehensweise beinhaltet zunächst die Analyse eines bestehenden Produktionssystems im Rahmen einer Produkt- und

Wertstromanalyse (Phase 1), im Anschluss daran die Erstellung und Verifikation eines Simulationsmodells des Untersuchungsbereichs in Plant Simulation® (Phase 2) sowie zeitgleich die Auswahl und Abbildung zu untersuchender Lean-Methoden im Simulationsmodell (Phase 3). Plant Simulation® ist eine in der Wissenschaft und Praxis weit verbreitete Standardsoftware zur objektorientierten, graphischen und integrierten Modellierung, Simulation, Animation und Optimierung von Produktion, Logistik und Geschäftsprozessen. Der Vorteil besteht darin unterschiedliche, sehr komplexe Systeme und Steuerungsstrategien realitätsgetreu und in hoher Genauigkeit abbilden zu können, wie es bei der Bewertung von Lean-Methoden notwendig ist. Die vierte Phase umfasst die simulative Analyse und Optimierung des Einsatzes ausgewählter Lean-Methoden. In der fünften und letzten Phase werden auf Basis der durchgeführten Sensitivitätsstudien Handlungsempfehlungen für den Einsatz von Lean-Methoden mit höchstem Verbesserungspotenzial in Bezug auf zuvor festgelegte Zielgrößen gegeben.

Aktuelle Forschungsarbeiten am wbk zielen darauf ab, zum einen die Abbildung von Lean-Methoden (Phase 3) durch den Einsatz von Prozessmustern zu vereinfachen, um eine anwenderfreundliche und komplexitätsreduzierte Bewertung zu ermöglichen. Zum anderen werden die in Phase 4 der genannten Methodik durchgeführten Sensitivitätsstudien ergänzt, um die Robustheit des Systems hinsichtlich äußerer Einflüsse zu ermitteln. Diese Weiterentwicklungen werden im Folgenden erläutert.

Prozessmuster beschreiben im Allgemeinen eine Menge von Aktivitäten, die zur Lösung eines Problems ausgeführt werden können. Sie werden eingesetzt, wenn das Lösen häufig auftretender Probleme durch einen erprobten Prozess beschrieben werden kann. Vor diesem Hintergrund können Prozessmuster auch zur Abbildung von Lean-Methoden genutzt werden. Die Modellierung der Lean-Methoden durch Prozessmuster erleichtert einerseits die Erstellung des Simulationsmodells, andererseits wird eine Übertragung auf unterschiedliche Anwendungsfälle in der Simulationsumgebung, hier Plant Simulation®, unterstützt. Es entfällt damit der Programmieraufwand des Produktionsplaners. Wie in der schematischen Darstellung (vgl. Abb. 1) angedeutet, benötigen Prozessmuster als Eingangsgrößen Realdaten des zu untersuchenden Bereichs, wie beispielsweise technische und organisatorische Informationen sowie Systemlastdaten (vgl. VDI 3633) in einer für den Produktionsplaner leicht wiederzuerkennenden Form, z. B. Excel®-Tabellen. Diese oft schon zur Modellierung vorhandenen Daten (Phase 2) werden dem Lösungsmuster entsprechend eingesetzt und ermöglichen anschließend die Übertragung der Wirkweise der Lean-Methode auf das Simulationsmodell des bestehenden Systems.

Beispielsweise werden Prozessmuster von Auftragsfreigabeverfahren zur Steuerung des Informationsflusses in einem Produktionsbereich eingesetzt. Somit wird eine höhere Anwenderfreundlichkeit und Reduktion der Komplexität bei der Abbildung von Lean-Methoden erreicht, da der Produktionsplaner Daten in einem für ihn vertrauten Format in Prozessmuster eingibt, auf diese Art die Wirkweise einer Lean-Methode automatisiert initiiert wird und somit manueller Programmieraufwand in der Simulationsumgebung entfällt. Um die Anwendbarkeit der Prozessmuster in unterschiedlichen Anwendungsfällen sicherzustellen, werden diese in methodenspezifischen Netzwerken modelliert. Netzwerke bieten in Plant Simulation® die Möglichkeit Produktionsumgebungen modular aufzubauen. Sie sind durch Schnittstellen untereinander verbunden. Diese können Informationsflüsse durch den Aufruf

von Methoden in anderen Netzwerken oder durch den Zugriff einer Methode auf Ressourcen anderer Netzwerke beinhalten. Die Schnittstellen können aber auch Materialflüsse netzwerkübergreifend auslösen.

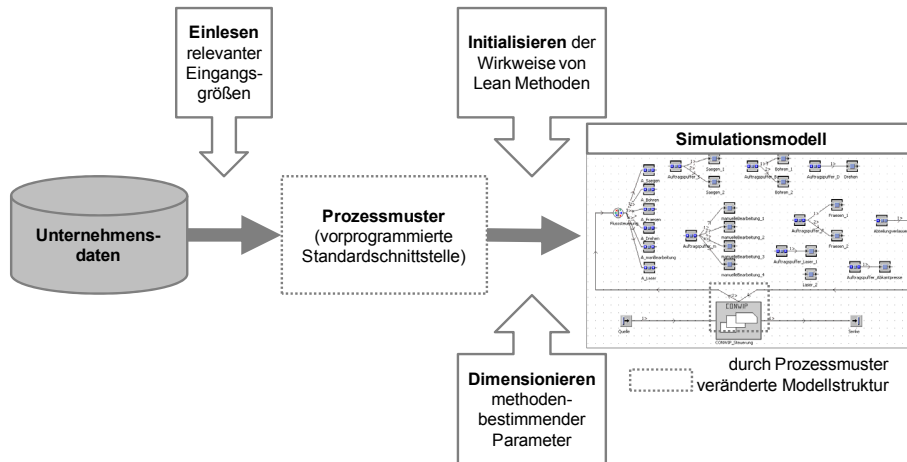


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Prozessmusters

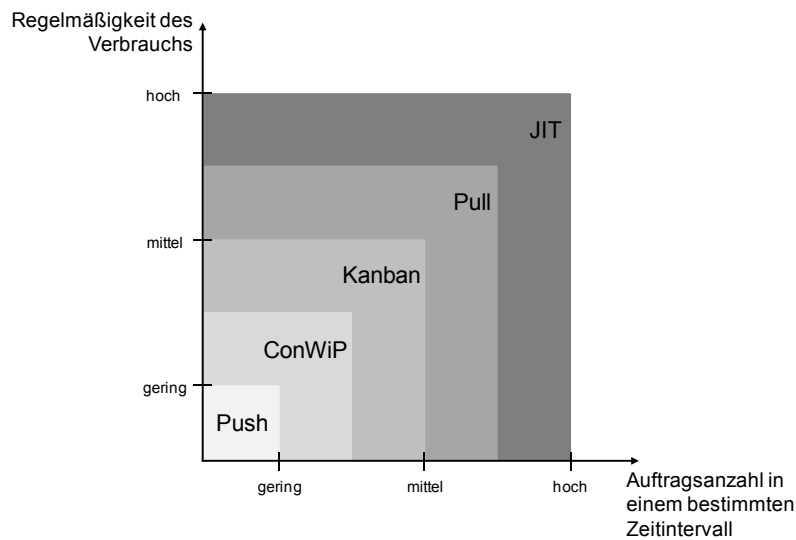
Im Anschluss an die komplexitätsreduzierte Abbildung von Lean-Methoden und deren Auswahl in einem speziellen Anwendungsfall werden die Methoden auf ihre Robustheit bei sich ändernden Rahmenbedingungen untersucht. Einem Experimentendesign folgend werden bei der Untersuchung zum einen externe Eingangsgrößen, beispielsweise die Anzahl von Aufträgen in einem festgelegten Zeitfenster sowie deren Zusammensetzung oder die Materialverfügbarkeit variiert. Zum anderen werden Schwankungen interner Eingangsgrößen des Produktionssystems abgebildet. Dazu gehören unter anderem schwankende Bearbeitungs- und Rüstzeiten sowie die Variation von Stördauern, -häufigkeiten und Ausschussraten. Im Simulationsmodell wird die Variation der erwähnten Eingangsgrößen folgendermaßen abgebildet (vgl. Tab. 1).

Schwankende Eingangsgröße		Zu variierende Größe im Simulationsmodell
extern	Nachfrageverhalten	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Auftragsmenge pro Zeitintervall
	Materialverfügbarkeit	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Materialverfügbarkeit pro Zeitintervall
intern	Bearbeitungszeit	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Bearbeitungszeiten pro Zeitintervall
	Rüstzeit	Rüstzeitanteil an der Gesamtbearbeitungszeit
	Störverhalten	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anzahl Störungen pro Zeitintervall sowie der Stördauer
	Qualitätsrate	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ausschussmenge pro Zeitintervall

Tabelle 2: Abbildung variierender Eingangsgrößen im Simulationsmodell

Robustheitsuntersuchungen ermöglichen in einem nächsten Schritt dem Produktionsplaner unter Berücksichtigung künftiger Entwicklungen die Lean-Methoden mit

größtem Potential für eine nachhaltig effiziente Gestaltung eines Produktionsbereichs auszuwählen. Dazu werden bei der Robustheitsuntersuchung Schwellwerte erfasst, in deren Grenzen sich eine Leistungssteigerung des untersuchten Produktionssystems bei Anwendung einer Lean-Methode einstellt. Auf Basis dieser Schwellwerte ist es möglich Handlungsempfehlungen für Lean-Methoden unter Berücksichtigung ihrer Abhängigkeiten in Bezug auf stochastische Einflussgrößen, beispielsweise das Nachfrageverhalten bzw. die Verbrauchshäufigkeit, zu geben. Derartige Zusammenhänge können für ausgewählte Lean-Methoden mit Hilfe sogenannter Lean-Methodenketten beschrieben werden. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Lean-Methodenkette für Fertigungssteuerungsverfahren bezogen auf die Regelmäßigkeit des Verbrauchs von Produktvarianten und die Auftragsanzahl pro Zeitintervall.

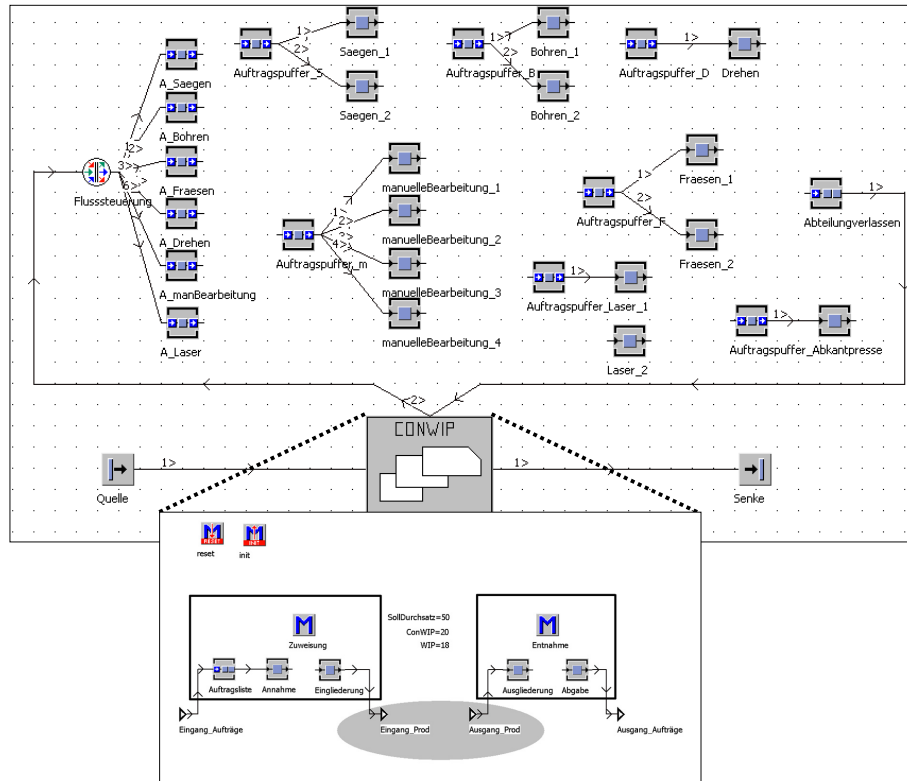


**Abbildung 3:** Beispiel der Lean-Methodenkette "Fertigungssteuerungsverfahren" als Funktion von Verbrauchsregelmäßigkeit und Auftragsanzahl

### 3 Simulative Abbildung des Einsatzes von Lean-Methoden am Beispiel einer ConWiP-Steuerung

In einer auftragsorientierten und kundenindividuellen Produktion mit hoher Variantenzahl und einer stochastischen Nachfrage, wie sie häufig in KMU zu finden ist, können die Potenziale einer Kanban-Steuerung kaum genutzt werden. Es bietet sich in diesem Umfeld - für den Fall, dass die Bestandsregelung das bestimmende Merkmal ist - die Anwendung des Auftragsfreigabeverfahrens Constant Work in Process an, einer Mischform aus Push- und Pull-Produktion (vgl. HOPP u.a. 2000, S. 360). Grundidee des Verfahrens ConWiP ist es, das Bestandsniveau eines Fertigungsbereichs konstant zu halten. Nur wenn eine definierte Bestandsgrenze unterschritten ist, werden Aufträge für den untersuchten Produktionsbereich freigegeben. Ein freigegebener Auftrag kann dabei sortenfremd sein, solange sein Arbeitsumfang, gemessen in Stunden oder Stückzahlen, nicht mehr als die insgesamt

freie Maschinenkapazität beansprucht (vgl. LÖDDING 2005, S. 330). Abbildung 3 zeigt das implementierte ConWiP-Prozessmuster in Plant Simulation® im Anwendungsfall eines mittelgroßen Werkstattfertigers. Die ConWiP-Wirkweise wird durch die Verbindung automatisiert initiiert, d.h. der manuelle Aufwand zur Beschränkung des Umlaufbestandes beispielsweise durch Verkleinerung der Puffer eines Produktionssystems entfällt.



**Abbildung 3:** Einbindung eines Prozessmusters in die Simulationsumgebung am Beispiel einer ConWiP-Steuerung

Bei den durchgeführten Sensitivitätsstudien am Prozessmuster ConWiP wurde zum einen getestet, ob die Anwendung der Lean-Methode zu einer Leistungssteigerung im Hinblick auf zuvor festgelegte Zielgrößen des untersuchten Bereichs führt. Zum anderen wurde analysiert, auf welchem Niveau im Vergleich zum Modell des Ist-Zustandes des Produktionssystems ohne Anwendung des Prozessmusters sich der maximale Umlaufbestand einpendelt. Im Anschluss an die Sensitivitätsstudien des einzelnen Prozessmusters konnten Lean-Methoden im Verbund getestet werden. Ergebnis dieser Optimierung einer Lean-Methodenkombination für das Beispiel des mittelgroßen Werkstattfertigers war, dass eine Anwendung der Lean-Methode ConWiP die Systemleistung steigern kann mit einer Bestandreduktion von durchschnittlich 55,57 Teilen bei einem Ausgangswert von 178,44 Teilen, einer Erhöhung der Termintreue um 7,13 % und einer Reduktion der durchschnittlichen Durchlauf-

zeit um 1,93 Tage. Der maximale Umlaufbestand wurde dabei auf 92 % des Umlaufbestandes im Modell des Ist-Zustandes des Produktionssystems festgelegt.

Abschließend kann festgestellt werden, dass eine Anwendung der Lean-Methode im Referenzfall zweckmäßig ist. Ziel weiterer Untersuchungen ist den Einsatzbereich von Lean-Methoden zu ermitteln, das heißt das Wertespektrum der Eingangsgrößen zu identifizieren, in dem eine Leistungssteigerung des Systems erfolgt. Im Beispiel der Anwendung des Prozessmusters ConWiP im Produktionsbereich des mittelgroßen Werkstattfertigers müssen im Rahmen der Robustheitsuntersuchung die Variantenzahl und das Nachfragevolumen bestimmt werden, bei denen Zielgrößen des Produktionssystems Verbesserungen anzeigen.

## 4 Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag umreißt die Herausforderungen bei der Simulation von Lean-Methoden in KMU und beschreibt einen Ansatz zur simulativen Abbildung und Robustheitsuntersuchung des Einsatzes von Lean-Methoden.

Um KMU bei der nachhaltigen und effizienten Gestaltung ihrer Produktionssysteme zu unterstützen, werden im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojekts am wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) Prozessmuster zur anwenderfreundlichen und komplexitätsreduzierten Abbildung von Lean-Methoden in der Simulationsumgebung Plant Simulation® entworfen und implementiert. Die Nutzung von Prozessmustern bei der Abbildung der Lean-Methoden vereinfacht und beschleunigt die Modellerstellung in der Simulationsumgebung für den Produktionsplaner. Durch eine Robustheitsuntersuchung ausgewählter Lean-Methoden wird gewährleistet, dass die Auswahl anzuwendender Methoden nicht allein auf der Analyse bestehender Produktionssysteme und den aktuellen Anforderungen basiert, sondern Zukunftsprognosen im Entscheidungsprozess mit einbezogen werden.

## 5 Danksagung

Die Autoren dieses Beitrags möchten sich an dieser Stelle bei der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH für die Förderung der vorgestellten Forschungsarbeiten bedanken. Bei diesem Projekt handelt es sich um einen Forschungsauftrag, der aus Mitteln der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH finanziert wird.

## Literatur

- DOMBROWSKI, U.; HERRMANN, C.; LACKER, T.; SONNENTAG, S.: Modernisierung kleiner und mittlerer Unternehmen – Ein ganzheitliches Konzept. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- HOPP, W.; SPEARMAN, M.: Factory Physics. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LANZA, G.; JONDRAL, A.; PETER, K.; TOEWE, H.: Reorganisation von Produktionssystemen in kleinen und mittelständischen Unternehmen mit Hilfe simulationsbasierter Prozessmuster für Lean-Methoden. In: wt Werkstattstechnik online, Düsseldorf, 100(2010)3, S. 125-130.

- LÖDDING, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung – Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. Berlin: Springer-Verlag, 2005
- PETER, K.: Bewertung und Optimierung der Effektivität von Lean-Methoden in der Kleinserienproduktion. Aachen: Shaker, 2009. (Forschungsberichte des Instituts für Produktionstechnik (wbk), Band 151, Universität Karlsruhe (TH))
- VDI 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen. November 1996.