



Hochschule
Kaiserslautern

University of
Applied Sciences

OPINNOMETH

Schriften des
Kompetenzzentrums für Operational Excellence- und Innovationsmethodik

Heft 2/2014, 18.10.2014

LEAN-OPERATORS FOR THE 40 INVENTIVE PRINCIPLES (INTERNATIONAL EDITION)

OPINNOMETH White-Paper

Kompetenzzentrum OPINNOMETH
Prof. Dr.-Ing. Christian M. Thumes
HS Kaiserslautern

Download unter: www.OPINNOMETH.de

ISSN 2199-0301



IMPRESSUM

Christian M. Thumes:
Lean-Operators for the 40 Inventive Principles (international edition)
OPINNOMETH White-Paper

OPINNOMETH – Schriften des Kompetenzzentrums für Operational Excellence und
Innovationsmethodik

Heft 2/2014

Zweibrücken, 18.10.2014

ISSN 2199-0301

Redaktion und Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Christian M. Thumes
Kompetenzzentrum OPINNOMETH
HS Kaiserslautern/FB Betriebswirtschaft
Amerikastr. 1
66482 Zweibrücken
christian.thumes@hs-kl.de

Auflage: ausschließlich online verfügbar

Erscheinungsweise: unregelmäßige Erscheinungsweise

Bezugsquelle: Download unter www.OPINNOMETH.de

Der folgende Beitrag ist veröffentlicht unter:



LEAN-OPERATORS FOR THE 40 INVENTIVE PRINCIPLES (INTERNATIONAL EDITI-
ON), White-Paper von [Prof. Dr. C.M. Thumes](#) ist lizenziert unter einer
[Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz](#).

INHALTSVERZEICHNIS – TABLE OF CONTENTS

Inhaltsverzeichnis – Table of Contents	2
Vorwort - Foreword	5
Zielgruppe – Target Group	5
Danksagung - Acknowledgement	5
Version & Mitarbeit – Release & Contribution	6
Anwendung & Aufbau – Application & Structure	7
Lean-Operators for the 40 Inventive Principles (int. edition, v. 2014/10)	8
„PRINCIPLE 01 - Segmentation	8
„PRINCIPLE 02 - Extraction (Extracting, Retrieving, Removing, Taking out)	8
„PRINCIPLE 03 - Local Quality	8
„PRINCIPLE 04 - Asymmetry	9
„PRINCIPLE 05 - Consolidation (Merging)	9
„PRINCIPLE 06 - Universality	9
„PRINCIPLE 07 - Nesting (Matrioshka, "Nested doll")	10
„PRINCIPLE 08 - Counterweight (Anti-weight)	10
„PRINCIPLE 09 - Prior Counteraction (Preliminary anti-action)	10
„PRINCIPLE 10 - Prior Action (Preliminary action)	11
„PRINCIPLE 11 - Cushion in Advance (Beforehand cushioning)	11
„PRINCIPLE 12 - Equipotentiality	11
„PRINCIPLE 13 - Do it in Reverse ("The other way round")	12
„PRINCIPLE 14 – Spheroidality (Curvature)	12
„PRINCIPLE 15 – Dynamics	12
„PRINCIPLE 16 – Partial or Excessive Action	13
„PRINCIPLE 17 - Transition into a New Dimension (Another Dimension)	13
„PRINCIPLE 18 - Mechanical Vibration	13
„PRINCIPLE 19 - Periodic Action	14
„PRINCIPLE 20 - Continuity of Useful Action	14
„PRINCIPLE 21 - Rushing Through (Skipping)	14
„PRINCIPLE 22 - Convert Harm into Benefit ("Blessing in disguise" or "Turn Lemons into Lemonade")	14
„PRINCIPLE 23 - Feedback	15
„PRINCIPLE 24 - Mediator („Intermediary“)	15
„PRINCIPLE 25 - Self-service	15
„PRINCIPLE 26 - Copying	15
„PRINCIPLE 27 - Dispose (Cheap Short-living Objects)	16
„PRINCIPLE 28 - Replacement of Mechanical System (Mechanics Substitution)	16
„PRINCIPLE 29 - Pneumatic or Hydraulic Constructions (Pneumatics and Hydraulics)	16
„PRINCIPLE 30 - Flexible Membranes or Thin Films (Flexible Shells and Thin Films)	16

„PRINCIPLE 31 - Porous Material.....	17
„PRINCIPLE 32 - Changing the Color (Color Changes).....	17
„PRINCIPLE 33 - Homogeneity.....	17
„PRINCIPLE 34 - Rejecting and Regenerating Parts (Discarding and Recovering).....	17
„PRINCIPLE 35 - Transformation of Properties (Parameter Changes).....	18
„PRINCIPLE 36 - Phase Transition.....	18
„PRINCIPLE 37 - Thermal Expansion.....	18
„PRINCIPLE 38 - Accelerated Oxidation (Strong Oxidants).....	18
„PRINCIPLE 39 - Inert Environment (Inert Atmosphere).....	19
„PRINCIPLE 40 - Composite Materials.....	19
Lean-Operatoren als Ausprägung der 40 Innovativen Prinzipien (ger, v. 2014/10).....	20
„IP 01 - Segmentierung.....	20
„IP 02 - Abtrennung.....	20
„IP 03 - örtliche Qualität.....	20
„IP 04 - Asymmetrie.....	21
„IP 05 - Vereinen.....	22
„IP 06 - Universalität.....	22
„IP 07 - Verschachtelung.....	22
„IP 08 - Gegengewicht.....	23
„IP 09 - Vorgezogene Gegenaktion.....	23
„IP 10 - Vorgezogene Aktion.....	23
„IP 11 - Vorbeugemaßnahme.....	24
„IP 12 - Äquipotential.....	24
„IP 13 - Umkehr.....	24
„IP 14 – Krümmung.....	25
„IP 15 – Dynamisierung.....	25
„IP 16 – Partielle / überschüssige Wirkung.....	25
„IP 17 - Höhere Dimension.....	26
„IP 18 - Mechanische Schwingung.....	26
„IP 19 - Periodische Schwingung.....	26
„IP 20 - Kontinuität.....	27
„IP 21 - Durcheilen und Überspringen.....	27
„IP 22 - Schädliches in Nützliches.....	27
„IP 23 - Rückkoppelung.....	27
„IP 24 - Mediator, Vermittler.....	28
„IP 25 - Selbstversorgung, -bedienung.....	28
„IP 26 - Kopieren.....	28
„IP 27 - Billige Kurzlebigkeit.....	29
„IP 28 - Mechanik ersetzen.....	29

„IP 29 - Pneumatik, Hydraulik.....	29
„IP 30 - Flexible Hüllen und Filme.....	29
„IP 31 - Poröse Materialien.....	30
„IP 32 - Farbveränderung.....	30
„IP 33 - Homogenität.....	30
„IP 34 - Beseitigung und Regeneration.....	30
„IP 35 - Eigenschaftsänderung.....	31
„IP 36 - Phasenübergang.....	31
„IP 37 - Wärmeausdehnung.....	31
„IP 38 - Starkes Oxidationsmittel.....	31
„IP 39 - Inertes Medium.....	31
„IP 40 - Verbundmaterial.....	32
Zitierte und weiterführende Literatur.....	33

LEAN-OPERATORS FOR THE 40 INVENTIVE PRINCIPLES (INTERNATIONAL EDITION)

OPINNOMETH White-Paper

VORWORT - FOREWORD

Die Zuordnung der Lean-Operatoren zu den Innovativen Prinzipien habe ich im März 2014 veröffentlicht. Seitdem haben einige internationale Veröffentlichungen (z. B. [10], [11]) darauf verwiesen und es haben mich etliche Anfragen nach einer internationalen Version erreicht. Dieses Heft enthält daher neben der marginal überarbeiteten deutschsprachigen Fassung auch eine grobe Übersetzung ins Englische. Ich freue mich, falls dieses hilfreiche Werkzeug Sie bei ihren Aktivitäten unterstützt.

Since the publication of the Lean-Operators for the Inventive Principles in German language, they have been cited in some international conference papers (e. g. [10], [11]). Thus, there have been many requests, to get an English version of this list. The following white-paper delivers a slightly revised version of the German edition and a rough English translation. I'm happy, if this useful tool supports you on your way.

ZIELGRUPPE – TARGET GROUP

Dieses Papier richtet sich in erster Linie an *Kreative und Problemlöser, die gewöhnlicher Weise mit den 40 Innovativen Prinzipien arbeiten* und sich in einem Umfeld bewegen, in dem Lösungen den Prinzipien der Lean Production oder des Lean Management entsprechen sollten. Ihnen kann es helfen, besser verstanden zu werden und Lösungen auszuwählen (bzw. zu erarbeiten), die gut zu den spezifischen Anforderungen Ihrer Lean-Kollegen und Kolleginnen passen.

Dieses Dokument richtet sich *NICHT an Lean-Manager, Lean-Consultants und andere Lean-Profis*. Diese sind sozusagen Muttersprachler. Das vorliegende Übersetzungswerk für TRIZ-Anwender (TRIZ = Theorie des erfinderischen Problemlösens) ist somit nicht für sie gedacht und kann natürlich auch nur beispielhafte Ansatzpunkte liefern. Hier kann und soll nicht der Anspruch erhoben werden, „Lean“ und „Operational Excellence“ in kompletter Gänze zu trainieren – wirkliche Lean-Profis wissen, dass dies ohnehin nicht in der Theorie machbar ist.

The target group of this paper are *creative people and problem solvers, who usually work with the 40 Inventive Principles and who have to develop solutions that fit with the principles of Lean Production and Lean Management*. This paper may help to be understood very well by the colleagues with deep lean experience.

This paper does *NOT address experienced Lean managers, Lean facilitators and Lean consultants*. This paper is somewhat like a dictionary for TRIZ-users (TRIZ = theory of inventive problem solving) to translate their solution paths into lean lingo and to create and formulate solutions that can be cherished by experienced professionals in a Lean environment. But please be aware, that you will not learn everything about Lean and Operational Excellence this way – Lean is not a theoretical approach, it is based on doing things.

DANKSAGUNG - ACKNOWLEDGEMENT

Ein spezieller Dank geht an Angelika Riedl, Wolfgang Diesenreiter und Dr. Frank Zeihsel mit denen gemeinsam ich das Thema erstmalig bei der TRIZ-Konferenz des Österreichischen TRIZ-Kompetenzzentrums 2011 in Wien diskutierte. In der Folge waren auch Tests und Diskussionen im

Rahmen eines Berliner TRIZ-Arbeitskreises erkenntnisreich, bei denen insbesondere Jürgen Hess und Andreas Wagner aber auch allen Teilnehmern des Arbeitskreises mein Dank gilt. Ein weiterer Dank geht an meinen gedanklichen Mitstreiter Dr. Frank Zeihsel – inzwischen haben wir gemeinsam auch weitere Facetten der Passung von Lean und TRIZ beleuchtet. Ein weiterer Dank geht an alle anderen Autoren, die bereits spezielle Beispiel- und Operatorenansammlungen erstellt haben – seien es ganz prinzipielle Operatoren (wie in vielen Ansätzen von B. Zlotin, A. Zusman, S. Visnepolschi u. a. zu finden, z. B. [8], [9]) oder Sammlungen für themenspezifische Interpretationen wie z. B. Qualitätswesen, Marketing, Vertrieb etc. (z. B. von G. Retseptor beschrieben [7]) oder aber der Lean Production. Der hier gewählte Ansatz folgt direkt diesen Mustern und beinhaltet sicherlich auch Überschneidungen mit existenten Sammlungen.

Sincere thanks go to Angelika Riedl, Wolfgang Diesenreiter and Dr. Frank Zeihsel for the initial discussion of this topic at the conference of the “Österreichisches TRIZ-Kompetenzzentrum” in Vienna 2011. Also later discussions and experiments with a working group in Berlin have been helpful and I especially thank Jürgen Hess and Andreas Wagner for their valuable suggestions. Furthermore I like to thank my friend and former colleague Dr. Frank Zeihsel – together we published some papers on lean and TRIZ so far. And last not least I like to thank all the people that worked on collections of operators, to make TRIZ a more handy methodology in some ways. There are very general collections of operators (that can be found e. g. in many works of B. Zlotin, A. Zusman, S. Visnepolschi a.o., e. g. [8], [9]) and collections of operators and examples that are focused on specific topics like quality management, marketing, sales etc. (see e. g. the paper of G. Retseptor [7]) or even collections focused on Lean Production. The approach of this paper follows these patterns and certainly overlaps with other existing collections.

VERSION & MITARBEIT – RELEASE & CONTRIBUTION

Ich gehe fest davon aus, dass diese Liste nicht vollendet ist. Weitere Versionen werden auf www.OPINNOMETH.de erscheinen, sobald ich ausreichend Material für eine Überarbeitung gesammelt habe.

Auch Sie können gerne mitwirken: *Schicken Sie mir doch Ihre Vorschläge mit Lean-Operatoren und ihrer jeweiligen Zuordnung zu einem Innovativen Prinzip.* Bitte fügen Sie auch ein Schreiben hinzu, mit dem Sie mir die Veröffentlichung Ihres Beitrags erlauben. Ich bitte um Verständnis, dass eine Einfügung nur nach positiver inhaltlicher Prüfung erfolgen wird. Selbstverständlich werde ich Sie dann als Mitwirkende erwähnen.

I am very sure, that this list is not finished yet. Later versions will appear on www.OPINNOMETH.de, as far as there is sufficient new material for a new version.

If you like to contribute, please *send me your proposals of Lean-Operators for specific Inventive Principles.* Please also add a confirmation, that you allow the publication of your contribution. The contributions will be substantially checked before integration. Naturally the contributor will be named in case of integration.

Prof. Dr.-Ing. Christian M. Thurnes M.A.

Zweibrücken im Oktober 2014

ANWENDUNG & AUFBAU – APPLICATION & STRUCTURE

Wenn Sie der Zielgruppe angehören, wissen Sie, wie die Lean-Operatoren anzuwenden sind. Ob Sie über die Widerspruchsmatrix, im Rahmen eines TRIZ-Brainstormings oder über andere Wege zu den betrachteten Innovativen Prinzipien gelangen, sei Ihrer Expertise und Ihrer Werkzeugwahl überlassen. Die aufgelisteten Lean-Operatoren entspringen verschiedenen Lean-Prinzipien und Lean-Werkzeugen. Im abschließenden Literaturverzeichnis sind verschiedene Quellen aufgelistet, in denen sie sich wieder spiegeln.

Die einzelnen Abschnitte zu den Innovativen Prinzipien sind folgendermaßen aufgebaut:

- Nennung von Nummer, Benennung und allgemeinen Operatoren. Hier wird im Original-Wortlaut auf die Darstellung des Handbuchs „tetris“ [1] zurückgegriffen.
- Danach werden (sofern vorhanden) zum Prinzip passende konkretisierende Anweisungen – Lean-Operatoren – aufgeführt.
- Allgemeine Anweisungen der Innovativen Prinzipien, die im Lean-Kontext sehr leicht missverstanden werden können, sind **rot** abgedruckt. Hier ist besondere Vorsicht geboten, da der Wortlaut aus Sicht von Lean-Experten sehr negativ interpretiert werden kann.

Anwendungsfelder: Die prädestinierten Problemstellungen, bei denen die hier dargestellten Lean-Operatoren anwendbar sind, stammen primär aus den Bereichen:

- Produktion und Logistik – sowohl technische als auch organisatorische Aspekte
- Betriebsorganisation

When you're part of the target group, you'll know how to apply the Lean-Operators. Maybe you are using a contradiction table, maybe you are facilitating a TRIZ-Brainstorming or you choose another way working with the Inventive Principles. The collection of Lean-Operators below has its source in the professional practice and application of different Lean principles and Lean tools. The list of literature at the end shows some comprehensive sources.

The sections of the list are structured like this:

- number of the inventive principle, title and some general operators – therefore the original wording of the “tetris”-handbook is used – see [1]
- then – if available – specific suggestions and maybe examples are given as “Lean-Operators”
- some operators can be misunderstood by professionals with Lean experience; these are printed in **red**, because you should be very sensitive with this wording towards Lean interpretation

Fields of application: Predestinated fields of application for this list of Lean-Operators primarily are:

- production and logistics – technical and organizational aspects
- company organization in general

LEAN-OPERATORS FOR THE 40 INVENTIVE PRINCIPLES (INT. EDITION, V. 2014/10)

„PRINCIPLE 01 - SEGMENTATION

- Divide an object into independent parts.
- Make an object easy to disassemble.
- Increase the degree of fragmentation or segmentation.“ [1]

Lean-Operators:

- use or create modular and dismountable equipment (e. g. quick-fit shelves, carts, workplaces)
- use or create equipment with a core and peripheral extensions (e. g. computer with separate monitor, mouse, etc. instead of integrated display)
- cut production lots into smaller lots – create small lot sizes (aspired optimal lot size: 1 piece)
- cut transportation lots into smaller lots – create small lot sizes (not bigger than the production lot)
- describe standard-work in detail
- divide problem-solving in distinct steps (e. g. plan-do-check-act (PDCA) or more detailed problem-solving processes like: problem description, gathering of data, target description, root-cause analysis, development of hypotheses and countermeasures, test of hypotheses and measures, implementation and standardization of measures or start of a new problem-solving process)

„PRINCIPLE 02 - EXTRACTION (EXTRACTING, RETRIEVING, REMOVING, TAKING OUT)

- Extract the “disturbing” part or property from the object.
- Extract only the necessary part or property from an object.“ [1]

Lean-Operators:

- separate non-value adding activities: isolate obvious waste and eliminate it
- separate non-value adding activities: isolate “necessary” waste and reduce it
- separate change-over tasks, that may be performed while machine is still or again running (external set-up) from change-over tasks that require machine holdup
- eliminate features of the product or service that are not desired by the customer
- eliminate or separate potential mistakes or errors

„PRINCIPLE 03 - LOCAL QUALITY

- Transition from homogenous to heterogeneous structure of an object or outside environment (action).
- Different parts of an object should carry out different functions.
- Each part of an object should be placed under conditions that are most favourable for its operation.“ [1]

Lean-Operators:

- assign value adding and non-value adding tasks to different people (nurse surgeon principle)
- don't buy large general-purpose machines – instead buy one (or several) simple machines with a small range of application each
- use safety stock only at distinct points where needed: e. g. use in-process-kanban or supermarkets – don't use safety stocks in general

„PRINCIPLE 04 - ASYMMETRY

- Replace symmetrical form(s) with asymmetrical form(s).
- If an object is already asymmetrical, increase its degree of asymmetry.“ [1]

Lean-Operators:

- assign value adding and non-value adding tasks to different people (nurse surgeon principle)
- design objects or processes that asymmetric, so they can't be confound with each other (e. g. USB-A- and USB-B plugs, different keys, symbols for visual controls)
- design objects or processes that asymmetric, so they can't be used in the wrong way (e. g. 3 pin power plugs, keys to use with locking cylinder)

„PRINCIPLE 05 - CONSOLIDATION (MERGING)

- Consolidate in space homogeneous objects, or objects destined for contiguous operations.
- Consolidate in time homogeneous or contiguous operations.“ [1]

Lean-Operators:

- create team structures in such a way, that the team members have the same skills and tasks (but these may be widespread and interdisciplinary)
- place machines, equipment and workplaces in a way, that allows the flow of work pieces (or maybe the flow of information or people)
- design the material flow of the final assembly of a product as a flow with a takt; the takt time is given through the available time divided by the amount of the customer needs
- design the material flow of parts and components as a flow with a takt; the takt time is given through the available time divided by the amount of the customer needs
- place machines, equipment and workplaces in a way, that the flows of parts and components flow into the material flow of the product (or maybe information or people)

„PRINCIPLE 06 - UNIVERSALITY

- An object can perform several functions; therefore, other elements can be removed“ [1]

Lean-Operators:

- make small simple things multifunctional (e. g. a wrench with two different needed wrench widths at its ends)
- use standardized procedures (e. g. standardized problem solving process, standard operation procedures, standardized 3P- or improvement workshops, standardized shopfloor management, etc.)
- standardize efficient flows (material, information, people) in such a way, that different items can flow through in small lots (e. b. mixed model lines with one-piece-flow)

„PRINCIPLE 07 - NESTING (MATRIOSHKA, "NESTED DOLL")

- One object is placed inside another. That object is placed inside a third one. And so on ...
- An object passes through a cavity in another object." [1]

Lean-Operators:

- provide all the things needed in specific standardized repositories at the point of application (e. g. different kinds of kitting in specific cases or standardized boxes or on/in the work piece itself)
- show outer contour of things to store the things within the contours (e. g. shadow boards, parking lots)
- integrate machines into manual work on assembly lines, if they fit the work sequence and the takt time (e. g. a simplified "mini"-milling machine right into an assembly line)

„PRINCIPLE 08 - COUNTERWEIGHT (ANTI-WEIGHT)

- Compensate for the weight of an object by combining it with another object that provides a lifting force.
- Compensate for the weight of an object with aerodynamic or hydrodynamic forces influenced by the outside environment." [1]

Lean-Operators:

- use variable counterweights to create simple handling devices and manipulators
- provide supporting functions by supporters to increase the value adding activities of operating people (e. g. team leaders and material handlers that create optimal working conditions for the value-adding work of the operators)

„PRINCIPLE 09 - PRIOR COUNTERACTION (PRELIMINARY ANTI-ACTION)

- Preload countertension to an object to compensate excessive and undesirable stress." [1]

Lean-Operators:

- use poka-yoke devices, that eliminate errors caused by mistake or carelessness
- use undestroyable standards, that prohibit wrong operation (e. g. it's not possible to place things on a skewed window board and a tied tool will not get lost)
- prepare working steps in such a way, that they don't have to be stopped while conduction (e. g. use checklists, perform functional tests, prepare toolsets)
- create compensatory conditions in advance (e. g. preparation of a cooling device for a tool that will eventually heat up later on)

„PRINCIPLE 10 - PRIOR ACTION (PRELIMINARY ACTION)

- Perform required changes to an object completely or partially in advance.
- Place objects in advance so that they can go into action immediately from the most convenient location.“ [1]

Lean-Operators:

- provide the things (material, information) needed in the right amount, in the right moment for usage in schedule at the place of value creation (e. g. kitting of parts for assembly)
- locate materials, tools and information in such a way, that as less as possible motion and transportation are necessary (e. g. tool holders near the place of action, sort the tools in order of usage, preparation of screwdrivers regarding the needed torsional moment)
- create necessary working conditions in advance (e. g. pre-heating of a tool (that has to be hot for the operation) before insertion to the machine)

„PRINCIPLE 11 - CUSHION IN ADVANCE (BEFOREHAND CUSHIONING)

- Compensate for the relatively low reliability of an object with emergency measures prepared in advance.“ [1]

Lean-Operators:

- use poka-yoke devices, that eliminate errors caused by mistake or carelessness
- use poka-yoke or jidoka-devices to stop the process in case of a process error before this leads to defects of the product; more in detail: create mechanisms that check the process based on mechanical signals, countable data or perceptible sequences and that are able to stop the process if necessary by stopping it, discharging some parts or at least warning the operators
- use undestroyable standards, that prohibit wrong operation (e. g. it's not possible to place things on a skewed window board and a tied tool will not get lost)

„PRINCIPLE 12 - EQUIPOTENTIALITY

- Change the condition of the work in such a way that it will not require lifting or lowering an object.“ [1]

Lean-Operators:

- create consistent material flows (also information flows), so the transportation conditions of the materials will not change (e. g. placement of the object on a rollable table as well for processing it as for transportation between workplaces)
- create consistent and smooth velocity of procedures and things (e. g. moving lines, using takt, line balancing, leveled production)

„PRINCIPLE 13 - DO IT IN REVERSE (“THE OTHER WAY ROUND”)

- Instead of the direct action dictated by a problem, implement an opposite action (i.e., cooling instead of heating).
- Make the moveable part of an object, or outside environment, stationary – and the stationary part moveable.
- Turn the object “upside down”.“ [1]

Lean-Operators:

- make things (material, information) movable, instead of using conveyor mechanisms (e. g. a cart for each product instead of locating all parts on a belt conveyor)
- fixate moveable equipment and make fixed equipment moveable (e. g. mount wheels on workbenches, bind tools on workbenches)
- use unidirectional lines – if not possible try to use bidirectional lines for manual working processes
- move the people and the material (e. g. in a chaku-chaku-line)
- move the people not the material (e. g. people-flow in a line with big heavy or not moveable work pieces)
- create standardized work sequences to create a leveled workload even if the work sequence for the operators differs to the sequence of process-steps that the product experiences (e. g. in a U-shaped cell with 2 operators and 8 stations one operator works at the stations 1,2,7,8 and the other works at the stations 3,4,5,6)

„PRINCIPLE 14 – SPHEROIDALITY (CURVATURE)

- Replace linear parts with curved parts, flat surfaces with spherical surfaces, and cube shapes with ball shapes.
- Use rollers, balls, spirals.
- Replace linear motion with rotational motion; utilize centrifugal force.“ [1]

Lean-Operators:

- make things (material, information) moveable, instead of using conveyor mechanisms (e. g. a cart for each product instead of locating all parts on a belt conveyor)
- create material flows not only in straight lines – consider U-shapes or S-shapes

„PRINCIPLE 15 – DYNAMICS

- Characteristics of an object or outside environment, must be altered to provide optimal performance at each stage of an operation.
- If an object is immobile, make it mobile. Make it interchangeable.
- Divide an object into elements capable of changing their position relative to each other.“ [1]

Lean-Operators:

- use systems for transport, replenishment and production control that are based on consumption of resources or things (e. g. Kanban circles, supermarkets)
- use the first-in-first-out principle
- make things (material, information) movable, instead of using conveyor mechanisms (e. g. a cart for each product instead of locating all parts on a belt conveyor)
- move the people and the material (e. g. in a chaku-chaku-line)
- move the people not the material (e. g. people-flow in a line with big heavy or not moveable workpieces)

„PRINCIPLE 16 – PARTIAL OR EXCESSIVE ACTION

- If it is difficult to obtain 100% of a desired effect, achieve more or less of the desired effect.“ [1]

Lean-Operators:

- use pareto analysis and solve the most important problem first
- **ATTENTION:** „excessive action“ is a very questionable term in the Lean lingo – it may be very hard to explain in a lean environment

„PRINCIPLE 17 - TRANSITION INTO A NEW DIMENSION (AN-OTHER DIMENSION)

- Transition one-dimensional movement or placement of objects into two-dimensional or three-dimensional, etc.
- Utilize multi-level composition of objects.
- Incline an object, or place it on its side.
- Utilize the opposite side of a given surface.
- Project optical lines onto neighboring areas or onto the reverse side of an object.“ [1]

Lean-Operators:

- use templates and masks to direct motions towards a specific way or curve (e. g. specific lifting carts to assemble objects into moving objects, mark three-dimensional objects for following operations like welding or cutting)

„PRINCIPLE 18 - MECHANICAL VIBRATION

- A. Utilize oscillation.
- B. If oscillation exists, increase its frequency to the ultrasonic.
- C. Use the frequency of resonance.
- D. Replace mechanical vibrations with piezo-vibrations.
- E. Use ultrasonic vibrations in conjunction with electromagnetic field.“ [1]

Lean-Operators:

- design transportation lots as small as possible without threatening the security of supply (e. g. calculation of Kanban sizes)
- align all main processes at the takt time of the customer demand (e. g. available time divided by demand during this time) and conduct all activities clocked (e. g. use standardized work)
- align sub-processes and transportation in frequencies (e. g. line cycle time, milk-run cycles)
- use working steps in repeating cycles

„PRINCIPLE 19 - PERIODIC ACTION

- Replace a continuous action with a periodic one (impulse).
- If an action is already periodic, change its frequency.
- Use pauses between impulses to provide additional action.“ [1]

Lean-Operators:

- change the line cycle time
- consider time needed for improvement and problem solving when calculating cycle times
- consider time needed for continuous improvement when balancing workload
- conduct change-over operations in flowlines periodically within the cycle time (e. g. change-over on station 1 at takt 1, station 2 at takt 2, etc.; so just one piece is lost because of change-over)

„PRINCIPLE 20 - CONTINUITY OF USEFUL ACTION

- Carry out an action without a break. All parts of the object should constantly operate at full capacity.
- Remove idle and intermediate motion.
- Replace “back-and-forth” motion with rotating one.“ [1]

Lean-Operators:

- realize a leveled production regarding amount and type of products (e. g. use Heijunka-Boards, line balancing, yamazumi)
- realize a consistent workload
- create flow of products, processes, information, people, materials and equipment

„PRINCIPLE 21 - RUSHING THROUGH (SKIPPING)

- Perform harmful and hazardous operations at a high speed.“ [1]

Lean-Operators:

- there are no specific Lean-Operators, but the general description above may be used if applicable

„PRINCIPLE 22 - CONVERT HARM INTO BENEFIT (“BLESSING IN DISGUISE” OR “TURN LEMONS INTO LEMONADE”)

- Utilize harmful factors – especially environment – to obtain a positive effect.
- Remove one harmful factor by combining it with another harmful factor.
- Increase the degree of harmful action to such an extent that it ceases to be harmful.“ [1]

Lean-Operators:

- there are no specific Lean-Operators, but the general description above may be used if applicable

„PRINCIPLE 23 - FEEDBACK

- Introduce feedback.
- If feedback already exists change it.“ [1]

Lean-Operators:

- don't accept defective parts from the preceding process – give it back
- don't allow the following process to accept defective parts
- use feedback as essential part of learning and scientific approaches (e. g. create hypothesis, act and check the results for feedback whether the hypothesis could be true or false)
- use visual feedback (e. g. marked storage spaces, production figures, defect counter, failure signals, Andon displays, traffic signals)

„PRINCIPLE 24 - MEDIATOR („INTERMEDIARY“)

- Use an intermediary object to transfer or carry out an action.
- Temporarily connect the original object to one that is easily removed.“ [1]

Lean-Operators:

- use carriers, shadow boards, templates and masks, carts with kitted materials
- use mediators that connect single parts to bigger units (e. g. system of small boxes that can be stacked to the size of a euro-pallet)
- prepare set-ups on special carts outside the machine with mediators
- use a combination of existing and not existing things (e. g. cardboard engineering, usage of mock-ups)

„PRINCIPLE 25 - SELF-SERVICE

- An object must service itself and carry out supplementary and repair operations.
- Make use of waste material and energy.“ [1]

Lean-Operators:

- use gravity for transportation (e. g. flow racks)
- use characteristics of the system to display information (e. g. stacks of boxes in front of a colored scale display the amount of pieces)
- use heat energy (e. g. heat of a machine used for drying)
- use in-process-kanban to integrate necessary waiting time into a line (e. g. defined number of parts in a flow line between painting and next operation to realize drying time)

„PRINCIPLE 26 - COPYING

- A simplified and inexpensive copy should be used in place of a fragile original or an object that is inconvenient to operate.
- If visible optical copy is used, replace it with infrared or ultraviolet copies.
- Replace an object (or system of objects) with their optical image. The image can then be reduced or enlarged.“ [1]

Lean-Operators:

- simulate products or processes with cheap handmade mock-ups (e. g. cars made of pug or wood, products made of paper, workstations made of wood and cardboard)
- simulate surroundings by projection (e. g. taping shapes and contours, painting contours on the wall, using cordons)

„PRINCIPLE 27 - DISPOSE (CHEAP SHORT-LIVING OBJECTS)

- Replace an expensive object with a cheap one, compromising other properties (i.e. longevity).“ [1]

Lean-Operators:

- use or create modular and dismountable equipment (e. g. quick-fit shelves, carts, workplaces)
- use single-use masks and templates that can be revised simply

„PRINCIPLE 28 - REPLACEMENT OF MECHANICAL SYSTEM (MECHANICS SUBSTITUTION)

- Replace a mechanical system with an optical, acoustical, thermal or olfactory system.
- Use an electric, magnetic and electromagnetic field to interact with an object.
- Replace fields that are:
 - Stationary with mobile
 - Fixed with changing in time
 - Random with structured
 - Use fields in conjunction with ferromagnetic particles.“ [1]

Lean-Operators:

- use visual controls to display information (e. g. shadow boards, traffic lights, Andon displays)
- use acoustic signals to spread information (e. g. call for support, Andon-melodies, sirens)
- use mobile telecommunication technologies to realize Andon-functionality (e. g. a pager signal, if there is no audio-visual connection)

„PRINCIPLE 29 - PNEUMATIC OR HYDRAULIC CONSTRUCTIONS (PNEUMATICS AND HYDRAULICS)

- Replace solid parts of an object with gas or liquid. These parts can now use air or water for inflation, or use pneumatic or hydrostatic cushions.“ [1]

Lean-Operators:

- use pneumatic or hydraulic transportation technologies to move things without fixed conveyor technologies (e. g. moving heavy loads on air cushions)

„PRINCIPLE 30 - FLEXIBLE MEMBRANES OR THIN FILMS (FLEXIBLE SHELLS AND THIN FILMS)

- Replace customary constructions with flexible membranes or thin films.
- Isolate an object from its outside environment with flexible membranes or thin films.“ [1]

Lean-Operators:

- use thin films to wrap several parts together instead of using big boxes to realize standardized shapes and sizes

„PRINCIPLE 31 - POROUS MATERIAL

- Make an object porous, or use supplementary porous elements (inserts, covers, etc.).
- If an object is already porous, fill pores in advance with some substance.“ [1]

Lean-Operators:

- in a transferred sense:
 - put some other work into a work system, when it can not be leveled – the additional work helps to balance the line (but: the additional work must be value-adding – maybe to another product)

„PRINCIPLE 32 - CHANGING THE COLOR (COLOR CHANGES)

- Change the color of an object or its environment.
- Change the degree of translucency of an object or its environment.
- Use color additives to observe an object or process which is difficult to see.
- If such additives are already used, employ luminescent traces or trace atoms.“ [1]

Lean-Operators:

- mark the location of things with colors (e. g. places for materials, defective parts, aisles, parking lots)
- mark the affiliation of things with colors (e. g. any tool, containment or fitting blue is dedicated to deal with water – any yellow one deals with oil; or each operator has its own colored tools)
- use traffic light colors to display the need or plenty of inventory (e. g. red, yellow, green)
- use colors to display different machine states (e. g. red=stopped, blue=needs maintenance)
- use colors to display deviations from the standard (e. g. pointer needle that reaches a red field of the visual display)

„PRINCIPLE 33 - HOMOGENEITY

- Objects interacting with the main object should be made out of the same material (or material with similar properties) as the main object.“ [1]

Lean-Operators:

- consider the products or working units as ONE product family (one value-stream), that run through the same operation steps
- use the same part for different purposes to reduce complexity – use things that already exist

„PRINCIPLE 34 - REJECTING AND REGENERATING PARTS (DISCARDING AND RECOVERING)

- After completing its function, or becoming useless, an element of an object is rejected (discarded, dissolved, evaporated, etc.) or modified during its work process.
- Used-up parts of an object should be restored during its work.“ [1]

Lean-Operators:

- create material flows not only in straight lines – consider U-shapes or S-shapes
- create machines that unload automatically after operation (e. g. hanedashi devices)

„PRINCIPLE 35 - TRANSFORMATION OF PROPERTIES (PARAMETER CHANGES)

- Change the physical state of the system.
- Change the concentration or density.
- Change the degree of flexibility.
- Change the temperature or volume.“ [1]

Lean-Operators:

- there are no specific Lean-Operators, but the general description above may be used if applicable

„PRINCIPLE 36 - PHASE TRANSITION

- Using the phenomena of phase change (i.e. a change in volume, the liberation or absorption of heat, etc.).“ [1]

Lean-Operators:

- there are no specific Lean-Operators, but the general description above may be used if applicable

„PRINCIPLE 37 - THERMAL EXPANSION

- Use expansion or contraction of material by changing its temperature.
- Use various materials with different coefficients of thermal expansion.“ [1]

Lean-Operators:

- there are no specific Lean-Operators, but the general description above may be used if applicable

„PRINCIPLE 38 - ACCELERATED OXIDATION (STRONG OXIDANTS)

- Make transition from one level of oxidation to the next higher level:
 - Ambient air to oxygenated
 - Oxygenated to oxygen
 - Oxygen to ionized oxygen
 - Ionized oxygen to ozoned oxygen
 - Ozoned oxygen to ozone
 - Ozone to singlet oxygen“ [1]

Lean-Operators:

- there are no specific Lean-Operators, but the general description above may be used if applicable

„PRINCIPLE 39 - INERT ENVIRONMENT (INERT ATMOSPHERE)

- Replace a normal environment with an inert one.
- Introduce a neutral substance or additives into an object.
- Carry out the process in a vacuum.“ [1]

Lean-Operators:

- in a transferred sense:
 - take away anything from the workspace that is not needed for the fulfillment of the task
 - reduce inventory to a minimum
 - conduct waste-detecting activities (e. g. muda-walk, stand in circle)

„PRINCIPLE 40 - COMPOSITE MATERIALS

- Replace homogeneous materials with composite ones.“ [1]

Lean-Operators:

- store things sorted by later usage, not sorted by type (e. g. pallets with food for discounters contain mixed products, like different sauces on one pallet)
- produce different variants in one production line (e. g. one-piece-flow and heijunka)

LEAN-OPERATOREN ALS AUSPRÄGUNG DER 40 INNOVATIVEN PRINZIPIEN (GER, v. 2014/10)

„IP 01 - SEGMENTIERUNG

- Zerlege ein Objekt in unabhängige Teile
- Führe das Objekt zerlegbar aus
- Erhöhe den Grad an Unterteilung, Sorge für leichte Zerlegbarkeit / Zusammenfügbarkeit“ [1]

Lean-Operatoren:

- führe die Ausrüstungsgegenstände in der Produktion zerlegbar bzw. modular aus (flexible Schnellbausysteme für Wagen, Arbeitsplätze, Regale etc.)
- führe Maschinen und Ausrüstungsgegenstände als Kereinheit mit peripheren Erweiterungen aus – z. B. Rechereinheit mit separatem statt integriertem Monitor, Maus, Laufwerk, etc.
- zerlege Produktionslose in kleinere Lose (angestrebtes Optimum: Losgröße Eins)
- zerlege Transportlose in kleinere Lose (kleiner-gleich der Produktionslosgröße)
- beschreibe standardisiert Arbeitsschritte auf hohem Detailniveau
- zerlege Problemlösung in verschiedene Schritte (z. B.: P-Plan, D-Do, C-Check, A-Act oder Problembeschreibung, Datensammlung, Zielbeschreibung, Ursachenanalyse, Entwicklung von Maßnahmen und Wirkungshypothesen, Test der Maßnahmen, Prüfung der Hypothesen, Standardisierung oder Neudurchlauf)

„IP 02 - ABTRENNUNG

- Entfernung oder Abtrennung des störenden Teiles (des Objektes)
- Den notwendigen Teil bzw. die wesentliche Eigenschaft alleine einsetzen oder herausnehmen“ [1]

Lean-Operatoren:

- trenne nicht wertschöpfende Aktivitäten ab: Trenne offensichtliche Verschwendung ab und eliminiere sie.
- trenne nicht wertschöpfende Aktivitäten ab: Trenne notwendige Verschwendung ab und reduziere sie.
- trenne Rüsttätigkeiten die während der Maschinenoperation stattfinden können (sog. externes Rüsten) von Rüsttätigkeiten, die Maschinenstillstand erfordern (sog. internes Rüsten).
- eliminiere Produkt- oder Dienstleistungsfunktionen, die der Kunde nicht wünscht.
- trenne mögliche Fehlhandlungen und Fehlbedienungen ab.

„IP 03 - ÖRTLICHE QUALITÄT

- Übergang von einer homogenen Struktur zu einer heterogenen
- Verschiedene Teile des Systems sollen verschiedene Funktionen erfüllen
- Jede Komponente eines Systems unter den für sie individuell optimalen Bedingungen einsetzen“ [1]

Lean-Operatoren:

- ordne wertschöpfende und nicht-wertschöpfende Tätigkeiten unterschiedlichen Personen zu (Schwester-Chirurgen-Prinzip).
- beschaffe keine komplexen Universalmaschinen oder –prozesse, sondern mehrere „einfache“ Maschinen und Prozesse, mit jeweils weniger breiten Anwendungsfeldern.
- richte Pufferbestände so ein, dass sie nur an einzelnen Orten die jeweiligen Prozesse sichern (nicht generell) und klar definiert sind: nutze dort In-process-Kanban oder Supermärkte

„IP 04 - ASYMMETRIE

- Ersetze symmetrische Formen durch asymmetrische
- Erhöhe den Grad an Asymmetrie, wenn diese schon besteht“ [1]

Lean-Operatoren:

- ordne wertschöpfende und nicht-wertschöpfende Tätigkeiten unterschiedlichen Personen zu (Schwester-Chirurgen-Prinzip).
- gestalte Objekte oder Prozesse so asymmetrisch, dass sie nicht miteinander verwechselt werden können (z. B. USB-A- und USB-B-Stecker, verschiedene Schlüssel, Symbole der visuellen Steuerung).
- gestalte Objekte oder Prozesse so asymmetrisch, dass sie nicht falsch verwendet werden können (z. B. dreipoliger Stromstecker, Schlüssel für Schließzylinder).

„IP 05 - VEREINEN

- Gruppiere gleichartige oder zur Zusammenarbeit bestimmte Objekte räumlich zusammen; kopple sie
- Vertakte gleichartige oder zur Zusammenarbeit bestimmte Objekte; kopple sie zeitlich“ [1]

Lean-Operatoren:

- bilde Teams in der Art, dass sie sich aus Mitgliedern mit ähnlichen Fähigkeiten und Aufgaben zusammensetzen – die Fähigkeiten können aber weit gestreut und interdisziplinär sein.
- ordne Ausrüstung, Maschinen oder Arbeitsplätze so an, dass sie den Durchfluss der zu bearbeitenden Dinge erlauben (oder auch den Fluss von Information oder Menschen).
- gestalte die Endmontage des Produktes als getakteten Fluss; die Taktzeit ergibt sich aus der zur Verfügung stehenden Zeit, dividiert durch die Menge des Kundenbedarfs.
- gestalte Materialflüsse von Teilen und Baugruppen als getaktete Flüsse; die Taktzeit ergibt sich aus der zur Verfügung stehenden Zeit, dividiert durch die Menge des Kundenbedarfs.
- ordne Einrichtungen so an, dass die Flüsse der Teile und Baugruppen in den Fluss des Produktes münden.

„IP 06 - UNIVERSALITÄT

- Das System erfüllt mehrere unterschiedliche Funktionen, wodurch andere Systeme oder Objekte überflüssig werden“ [1]

Lean-Operatoren:

- mache kleine einfache Dinge multifunktional (z. B. ein Gabelschlüssel mit den zwei benötigten Schlüsselweiten an jeweils einem Ende).
- nutze standardisierte Vorgehensweisen (z. B. ein standardisierter Problemlöseprozess, der bei jedem Problem durchlaufen wird; standardisierte 3P- oder Verbesserungsworkshops, Standard-Arbeitsbeschreibungen, Routinen des Shopfloormanagements, etc.).
- standardisiere effiziente Flüsse (Material, Information, Menschen) derart, dass sie verschiedene Produkte in kleinsten Einheiten bewältigen (z. B. Mixed-Model-Lines).

„IP 07 - VERSCHACHTELUNG

- Ein Objekt befindet sich im Inneren eines anderen, das sich ebenfalls im Inneren eines dritten befindet (Matroschka-Prinzip)
- Das Objekt passt in oder durch den Hohlraum eines anderen“ [1]

Lean-Operatoren:

- bringe alle benötigten Dinge in einem standardisierten Behälter zum Platz der Anwendung (z. B. verschiedene Formen des Kitting in speziellen Behältern, universellen Behältern oder im/am Arbeitsgegenstand selbst).
- bilde zur Aufbewahrung die Außenkonturen der Dinge ab, die dann innerhalb dieser Konturen aufbewahrt werden (z. B. Schattenbretter).
- integriere Maschinenarbeitsschritte in manuelle Montagelinien, falls dies der Sequenz der Arbeitsschritte entspricht (z. B. Mini-Fräse innerhalb Montagelinie).

„IP 08 - GEGENGEWICHT

- Das Gewicht des Objektes kann durch Koppelung an ein anderes, entsprechend tragfähiges Objekt kompensiert werden
- Das Gewicht des Objektes kann durch aerodynamische oder hydraulische Kräfte kompensiert werden“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze einfache Manipulatoren und Handhabungsgeräte mit variablen Gegengewichten.
- nutze Mitarbeiter unterstützender Funktionen, um die Wertschöpfungsquote der operativen Funktionen zu steigern (z. B. nicht produktive Teamleiter, welche optimale Arbeitsbedingungen und Verbesserungen für ihr Team wertschöpfender Mitarbeiter realisieren).

„IP 09 - VORGEZOGENE GEGENAKTION

- Vor der Ausführung einer Aktion muss eine erforderliche Gegenaktion vorab ausgeführt werden
- Muss ein Objekt in Spannung sein, dann muss vorab die Gegenspannung erzeugt werden“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze Poka-Yoke-Vorrichtungen, die Fehler durch Verwechslung, Vergessen oder Unachtsamkeit unmöglich machen.
- nutze unzerstörbare Standards, die Fehlverhalten unmöglich machen (z. B. eine schräge Fensterbank kann nicht als Ablagefläche missbraucht werden und ein festgebundenes Werkzeug kann nicht verloren gehen).
- bereite Arbeitsschritte so vor, dass später während der Durchführung keine Abbrüche oder Ineffizienzen erforderlich sind (z. B. nutze Checklisten für erforderliche Werkzeuge, führe Funktionstests durch).
- stelle später erforderliche Kompensations-Bedingungen vorher her (z. B. Kühlung für ein sich erwärmendes Werkzeug).

„IP 10 - VORGEZOGENE AKTION

- Führe die notwendige Aktion – teilweise oder zur Gänze – im voraus aus
- Ordne die Objekte so an, dass sie ohne Zeitverlust vom richtigen Ort aus arbeiten können“ [1]

Lean-Operatoren:

- stelle die erforderlichen Materialien und Informationen am Ort der Wertschöpfung in der richtigen Menge für die termingerechte Nutzung bereit (z. B. Kitting von Montagematerialien).
- ordne Materialien und Werkzeuge (auch Informationen) so an, dass möglichst wenig nicht wertschöpfende Bewegung und Transport anfallen (z. B. Werkzeughalterungen nahe am Gebrauchsort, die Werkzeuge in Gebrauchsorientierung bereit stellen; bzgl. Drehmomenten und Schraubenzahl voreingestellte Schraubendreher).
- stelle später erforderliche Bedingungen vorher her (z. B. Erwärmen eines Werkzeugs vor Einbau in die warme Maschine).

„IP 11 - VORBEUGEMAßNAHME

- Kompensiere die schlechte Zuverlässigkeit eines Systems durch vorher ergriffene Gegenmaßnahmen ‚Vorher unterlegtes Kissen‘“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze Poka-Yoke- oder Jidoka-Vorrichtungen, die Fehler durch Verwechslung, Vergessen oder Unachtsamkeit unmöglich machen.
- nutze Poka-Yoke-Vorrichtungen, die Prozesse im Fehlerfall stoppen, bevor es zu Fehlern im Produkt kommt; etwas detaillierter: gestalte Vorrichtungen, die Vorgänge auf mechanische, zahlenbasierte oder ablauforientierte Weise bezüglich der richtigen Ausführung prüfen und zum Stopp, zur Ausschleusung fehlerhafter Teile oder wenigstens zu einem Warnsignal führen.
- nutze unzerstörbare Standards, die Fehlverhalten unmöglich machen (z. B. eine schräge Fensterbank kann nicht als Ablagefläche missbraucht werden).

„IP 12 - ÄQUIPOTENTIAL

- Verändere die Bedingungen so, dass das Objekt mit konstanten Energiepotential arbeiten kann, also beispielsweise weder angehoben noch abgesenkt werden muss“ [1]

Lean-Operatoren:

- gestalte durchgängig Materialflüsse, bei denen das Material seine Transportbedingungen nicht ändert (z. B. wird das Montageobjekt auf Rollen oder einem rollbaren Tisch bewegt und bearbeitet).
- Sorge für die gleichmäßige Geschwindigkeit von Abläufen und Objekten (z. B. Moving Lines, Taktung)

„IP 13 - UMKEHR

- Implementiere anstelle der durch Spezifikation diktierten Aktion die genau gegenteilige Aktion
- Mache ein unbewegliches Objekt beweglich oder ein bewegliches unbeweglich
- Stelle das System ‚auf den Kopf‘, kehre es um“ [1]

Lean-Operatoren:

- mache Produkte beweglich, statt sie auf Förderanlagen zu bewegen (z. B. ein Wagen für jedes Produkt statt Fließband; Rollen an einer Rohkarosse, statt eines Bodenbandes).
- mache festes Equipment beweglich und fixiere bewegliches (z. B. Rollen an Werkbänke, Werkzeug an Werkbank anbinden)
- strukturiere manuelle Arbeitsprozesse in bidirektionalen, statt in unidirektionalen Linien.
- bei Mehrmaschinenbedienung bewegen sich die Mitarbeiter mit dem Materialfluss.
- standardisierte Arbeitsfolgen in einer Linie/Zelle können räumlich anders ablaufen, als der Produktfortschritt (z. B. U-Zelle mit 8 Stationen, an denen 1,2,7,8 von einer Person, der Rest von einer zweiten erledigt werden).

„IP 14 – KRÜMMUNG

- Ersetze lineare Teile oder flache Oberflächen durch gebogene, kubische Strukturen durch sphärische
- Benutze Rollen, Kugeln, Spiralen
- Ersetze lineare Bewegungen durch rotierende, nutze die Zentrifugalkraft aus“ [1]

Lean-Operatoren:

- mache die Objekte beweglich, statt sie auf Förderanlagen zu bewegen (z. B. ein Wagen für jedes Produkt statt Fließband; Rollen an einer Rohkarosse, statt eines Bodenbandes).
- strukturiere Materialflüsse in Arbeitssystemen in U-Form (oder Doppel-U = S-Form), statt in geraden unidirektionalen Linien.

„IP 15 – DYNAMISIERUNG

- Gestalte ein System so, dass es sich automatisch unter allen Betriebszuständen auf optimale Performance einstellt
- Zerteile ein System in Elemente, die sich untereinander optimal arrangieren können
- Mache ein unbewegliches Objekt beweglich, verstellbar oder austauschbar“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze verbrauchsgesteuerte Transport-, Nachfüll- bzw. Produktionsanweisungen (z. B. Kanban-Kreise)
- nutze First-in-First-Out als Materialflussprinzip
- mache die Objekte beweglich, statt sie auf Förderanlagen zu bewegen (z. B. ein Wagen für jedes Produkt statt Fließband; Rollen an einer Rohkarosse, statt eines Bodenbandes)
- lasse die Arbeitskräfte sich in U-Zellen mit dem Material bewegen

„IP 16 – PARTIELLE / ÜBERSCHÜSSIGE WIRKUNG

- Wenn es schwierig ist, 100% einer geforderten Funktion zu erreichen, verwirkliche **etwas mehr** oder weniger, um so das Problem deutlich zu vereinfachen“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze Pareto-Analysen und löse die Teilprobleme mit höchstem Potenzial
- **ACHTUNG:** überschüssige Wirkung: dies ist sehr problematisch; selbst wenn die überschüssig erzielte Wirkung genutzt werden kann, ist dies oftmals nicht mit anderen Lean-Grundsätzen vereinbar

„IP 17 - HÖHERE DIMENSION

- Umgehe Schwierigkeiten bei der Bewegung eines Objektes entlang einer Linie durch eine zweidimensionale Bewegung
- Platziere das Objekt geneigt oder kippe es
- Nutze die Rückseite oder Projektionen auf die Rückseite bzw. in die Nachbarschaft des Objektes
- Ordne Objekte in mehreren statt einer Ebene an“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze Schablonen um Bewegungen entlang einer Linie oder Kurve zu führen (z. B. spezielle Hubwagen, um Elemente in sich bewegende Objekte zu montieren; Anzeichnen/Anreißen mehrdimensionaler Gebilde für Span- oder Schweißprozesse)

„IP 18 - MECHANISCHE SCHWINGUNG

- Versetze ein Objekt in Schwingung
- Oszilliert das Objekt bereits, erhöhe die Frequenz
- Benutze die Resonanzfrequenz(en)
- Piezovibration
- Ultraschall und elektromagnetische Felder“ [1]

Lean-Operatoren:

- führe Transportlose so klein wie möglich aus, ohne dabei die Versorgungssicherheit zu gefährden (z. B. Bestimmung von Kanban-Behältergrößen)
- richte alle Haupt-Prozesse an der Taktzeit aus, in der die Ergebnisse vom Kunden verlangt werden (z. B. die zur Erstellung verfügbare Zeit dividiert durch den Kundenbedarf) und führe Prozesse in Intervallen aus (z. B. Definition von Standard-Arbeit)
- richte Teilprozesse und Transporte an gleichmäßigen Intervallen aus (z. B. Linientakte, Milk-Run-Takte)
- führe Prozesse zyklisch aus (z. B. wiederkehrende Arbeitsschritte)

„IP 19 - PERIODISCHE SCHWINGUNG

- Übergang von kontinuierlicher zu periodischer Wirkung
- Liegt bereits eine periodische Aktion vor, verändere deren Frequenz
- Benutze Pausen zwischen einzelnen Impulsen, um andere Aktionen einfügen zu können“ [1]

Lean-Operatoren:

- verändere den Linientakt
- berücksichtige Zeit für Probleme bzw. Verbesserung bei der Festlegung von Takten
- berücksichtige Zeit für kontinuierliche Verbesserung bei der Arbeitsverteilung
- führe erforderliche Rüstaktivitäten in Flusssystemen periodisch im Takt (an immer jeweils nur einer Station) durch

„IP 20 - KONTINUITÄT

- Führe eine Aktion ohne Unterbrechung aus, alle Komponenten sollen ständig mit gleicher Belastung arbeiten
- Schalte Leerläufe und Unterbrechungen aus“ [1]

Lean-Operatoren:

- Sorge für ein ausgeglichenes Produktionsprogramm – sowohl nach Art als auch nach Menge (z. B. mit Hilfe von Heijunka-Boards und Sequenzierung)
- Sorge für gleichmäßige Arbeitsbelastung
- Sorge für fließende Prozesse, Abläufe, Materialien, Informationen, Mitarbeiter/innen etc.

„IP 21 - DURCHEILEN UND ÜBERSPRINGEN

- Führe schädliche oder gefährliche Aktionen mit sehr hoher Geschwindigkeit durch“ [1]

Lean-Operatoren:

- keine speziellen Lean-Operatoren, aber die allgemeine Formulierung ist anwendbar

„IP 22 - SCHÄDLICHES IN NÜTZLICHES

- Nutze schädliche Faktoren oder Effekte – speziell aus der Umgebung – positiv aus
- Beseitige einen schädlichen Faktor durch Kombination mit einem anderen schädlichen Faktor
- Verstärke einen schädlichen Einfluss soweit, bis er aufhört schädlich zu sein“ [1]

Lean-Operatoren:

- keine speziellen Lean-Operatoren, aber die allgemeine Formulierung ist anwendbar

„IP 23 - RÜCKKOPPELUNG

- Führe eine Rückkoppelung ein
- Ist eine Rückkoppelung vorhanden, ändere sie oder kehre sie um“ [1]

Lean-Operatoren:

- jeder ist verantwortlich dafür, keine fehlerhaften Arbeitsergebnisse von Vorgängern anzunehmen; diesbezüglich ist eine Rückkopplung an die Vorgänger erforderlich
- jeder ist verantwortlich dafür, keine fehlerhaften Arbeitsergebnisse an Nachfolger weiter zu geben; sollte dies dennoch geschehen, soll eine Rückkopplung seitens der Nachfolger stattfinden
- Führung und wissenschaftliches Vorgehen erfordern Rückkopplung: Mitarbeiter/innen sollen vor der Umsetzung von Lösungsmaßnahmen Vermutungen über die Ergebnisse entwickeln – nach der Durchführung der Maßnahmen dient die Rückkopplung der tatsächlichen Ergebnisse dem Lernen und der Weiterentwicklung
- Zustände sollen möglichst visuell zurück gemeldet werden (z. B. markierte Lagerflächen, Füllmengen, Produktionsstückzahlen, Fehlerzahlen, Störungen, Unterstützungsanforderung, Andon, ...)

„IP 24 - MEDIATOR, VERMITTLER

- Nutze ein Zwischenobjekt, um die Aktion weiterzugeben oder auszuführen
- Verbinde das System zeitweise mit einem anderen, leicht zu entfernenden Objekt“ [1]

Lean-Operatoren:

- verwende Werkstückträger, Schattenbretter, Schablonen, gekittete Materialwagen u. ä. zum Materialtransport
- verwende Mediatoren, die kleinere Einheiten bei Bedarf zu größeren zusammenfügen (z. B. System aus Kleinladungsträgern, die sich zu Palettengröße zusammenfassen bzw. –stapeln lassen; Adapter, die Bodenroller mit Ladungsträgern für Paletten oder Transportmittel zusammenfassen)
- rüste auf einem separaten Werkstückträger außerhalb der Maschine vor, so dass das Einfügen des vorgerüsteten Materials in die Maschine nur wenig Zeit benötigt
- verwende Modelle in Kombination mit realen Dingen (z. B. Modelle noch nicht existenter Produkte in Verbindung mit realen Fördereinrichtungen oder Bearbeitungsstätten)

„IP 25 - SELBSTVERSORGUNG, -BEDIENUNG

- Das System soll sich selbst bedienen und Hilfs- sowie Reparaturfunktionen selbst ausführen
- Nutze Abfall und Verlustenergie“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze die Schwerkraft zum Transport (z. B. Durchlaufregal)
- nutze Systemeigenschaften zur Anzeige von Information (z. B. Stapelung von Kisten vor einer farbigen Schablone, welche die maximale Stapelhöhe anzeigt)
- nutze Wärme (z. B. Abwärme von Maschinen zur Beschleunigung von Trocknungsvorgängen)
- nutze In-Prozess-Kanbans (z. B. definierte Anzahl der Teile im Fluss zwischen Lackierung und nächstem Arbeitsschritt), um prozessbedingtes Warten in den Fluss zu integrieren

„IP 26 - KOPIEREN

- Benutze eine billige, einfache Kopie anstatt eines komplexen, teuren, zerbrechlichen oder schlecht handhabbaren Objekts
- Ersetze ein System oder Objekt durch eine optische Kopie oder Abbildung. Hierbei kann der Maßstab verändert werden
- Gehe zu infraroten oder ultravioletten Abbildern über“ [1]

Lean-Operatoren:

- simuliere Produkte und Prozesse mit billigen Modellen (z. B. Produktmodelle aus Schaumstoff, Produktionslinienmodelle aus Pappe und Holzgestellen)
- simuliere Gegebenheiten durch Projektion in den Raum (z. B. Abkleben von Umrissen auf dem Boden, Anzeichnungen an den Wänden, Absperrungen im Raum)

„IP 27 - BILLIGE KURZLEBIGKEIT

- Ersetze ein teures System durch ein Sortiment billiger Teile, wobei auf einige Eigenschaften (wie Langlebigkeit) verzichtet wird“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze Schnellbausysteme, die eine schnelle Einrichtung und einfache Umgestaltung von Arbeitssystemen ermöglichen (z. B. Rohr- und Verbindersysteme zur Gestaltung von Regalen)
- nutze Einmal-Schablonen und Anreißhilfen, die bei Produktänderungen leicht angepasst werden können

„IP 28 - MECHANIK ERSETZEN

- Ersetze ein mechanisches System durch ein optisches, geruchsaktives oder akustisches System
- Benutze elektrische, magnetische Systeme oder eine Kombination aus beiden
- Ersetze Felder: stationäre durch bewegliche; konstante durch periodische; strukturlose durch strukturierte“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze Visuelles Management zur Anzeige von Zuständen und Mengen (z. B. Schattenbretter, Bestandsampeln, Andon-Boards)
- nutze akustische Systeme zur Anforderung von Unterstützung (z. B. Andon-Melodien, Sirenen)
- nutze Mobilfunksysteme zur Realisierung von Andon-Funktionen, wenn weder Sicht- noch Hörkontakt besteht

„IP 29 - PNEUMATIK, HYDRAULIK

- Ersetze feste, schwere Teile eines Systems durch gasförmige oder flüssige. Nutze Wasser oder Luft zum Aufpumpen
- Luftkissen; hydrostatische Elemente“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze Transporthilfen, um Material ohne fest installierte Fördermittel zu transportieren (z. B. Schieben großer Lasten auf einem Luftkissen schwebend)

„IP 30 - FLEXIBLE HÜLLEN UND FILME

- Ersetze übliche Konstruktionen durch flexible Hüllen oder dünne Filme
- Isoliere ein Objekt von der Umwelt durch einen dünnen Film oder eine Membran“ [1]

Lean-Operatoren:

- nutze flexible Folienverpackungen, falls keine standardisierten Verpackungsmittel nutzbar sind (z. B. werden viele kleine Behältnisse durch Skinnen schnell und einfach zu einer stabilen Transporteinheit

„IP 31 - PORÖSE MATERIALIEN

- Gestalte ein Objekt porös oder füge poröse Materialien (Einsätze, Überzüge, ...) hinzu
- Ist ein Objekt bereits porös, dann fülle die Poren vorab mit einem vorteilhaften Stoff“ [1]

Lean-Operatoren:

- in übertragenem Sinne:
 - wenn eine Linie nicht exakt nivellierbar ist, füge Arbeitsinhalte hinzu, welche die nicht ausgelasteten Stationen gegebenenfalls in Freiräumen bearbeiten können

„IP 32 - FARBVERÄNDERUNG

- Verändere die Farbe oder Durchsichtigkeit eines Objekts oder der Umgebung
- Nutze zur Beobachtung schlecht sichtbarer Objekte oder Prozesse geeignete Farbzusätze
- Setze Leuchtstoffe, lumineszente oder anderwärtig markierte Substanzen ein“ [1]

Lean-Operatoren:

- markiere den Platz für Werkzeuge, Vorrichtungen und Fahrzeuge (z. B. Schattenbrett, Parkplatzmarkierung, Bodenmarkierungen)
- markiere durch Farben Zugehörigkeiten (z. B. gleiche Farben für ein Werkzeug und dessen Liegeplatz, Anschlüsse gleicher Gase oder Flüssigkeiten oder z. B. für Behälter und Einfüllstutzen gleicher Flüssigkeiten)
- markiere farblich Bestände (z. B. nach dem Ampelprinzip Stellplätze und Lagerorte kennzeichnen)
- verwende Signalanzeigen für verschiedene Betriebszustände (z. B. Signalleuchten auf Maschinen)
- mache Abweichungen von Standards leicht erkennbar bzw. sichtbar durch farbige Markierungen

„IP 33 - HOMOGENITÄT

- Fertige interagierend Objekte aus demselben oder aus ähnlichen Material“ [1]

Lean-Operatoren:

- fasse in einem Wertstrom jene Produkte zusammen, welche fast ausschließlich die gleichen Bearbeitungsschritte durchlaufen
- nutze gleiche Materialien und Gleichteile zur Komplexitätsreduzierung

„IP 34 - BESEITIGUNG UND REGENERATION

- Beseitige oder verwerte (ablegen, auflösen, verdampfen) diejenigen Teile des Systems, die ihre Funktion erfüllt haben und unbrauchbar geworden sind
- Stelle verbrauchte Systemteile unmittelbar – in einem Arbeitsgang – wieder her“ [1]

Lean-Operatoren:

- strukturiere manuelle Arbeitsprozesse in U-Form (oder Doppel-U = S-Form), statt in geraden unidirektionalen Linien (Arbeitnehmer sind nach der letzten Operation wieder in Ausgangsposition für die erste Aktion)
- verwende Vorrichtungen, mit denen Maschinen sich nach der Operation selbst entladen und wieder einsatzbereit sind (z. B. hanedashi-Vorrichtungen)

„IP 35 - EIGENSCHAFTSÄNDERUNG

- Ändere den Aggregatzustand eines Objektes: fest, flüssig, gasförmig; aber auch quasiflüssig
- Ändere Eigenschaften wie Konzentration, Dichte, Elastizität, Temperatur“ [1]

Lean-Operatoren:

- keine speziellen Lean-Operatoren, aber die allgemeine Formulierung ist anwendbar

„IP 36 - PHASENÜBERGANG

- Nutze die Effekte während des Phasenübergangs einer Substanz aus: Volumenänderung, Wärmeentwicklung oder Wärmeabsorption“ [1]

Lean-Operatoren:

- keine speziellen Lean-Operatoren, aber die allgemeine Formulierung ist anwendbar

„IP 37 - WÄRMEAUSSDEHNUNG

- Nutze die thermische Expansion oder Kontraktion von Materialien aus
- Benutze Materialien mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten“ [1]

Lean-Operatoren:

- keine speziellen Lean-Operatoren, aber die allgemeine Formulierung ist anwendbar

„IP 38 - STARKES OXIDATIONSMITTEL

- Ersetze Luft durch Sauerstoffangereicherte Luft
- Ersetze angereicherte Luft durch reinen Sauerstoff
- Setze Luft oder Sauerstoff ionisierenden Strahlen aus
- Benutze Ozon“ [1]

Lean-Operatoren:

- keine speziellen Lean-Operatoren, aber die allgemeine Formulierung ist anwendbar

„IP 39 - INERTES MEDIUM

- Ersetze die übliche Umgebung durch eine inerte
- Führe den Prozess im Vakuum aus“ [1]

Lean-Operatoren:

- in übertragenem Sinne:
 - entferne Alles aus dem Arbeitsbereich, was nicht zur wertschöpfenden Tätigkeit benötigt wird
 - reduziere das Material im Bereich auf ein absolutes Minimum
 - führe eine intensive Verschwendungssuche im betroffenen Bereich durch (z. B. durch Im-Kreis-Stehen, Muda-Walk, ...)

„IP 40 - VERBUNDMATERIAL

- Ersetze homogene Stoffe durch Verbundmaterialien“ [1]

Lean-Operatoren:

- lagere Materialien nicht nach Gleichheit sortiert, sondern nach späterer Verwendung (z. B. Stiegen mit Joghurt-Bechern für den Discounter enthalten gemischte Sorten, in einem Verhältnis, das dem durchschnittlichen Kaufverhalten der Kunden angepasst ist)
- fertige verschiedene Varianten in einer Linie (Ziel: One-Piece-Flow und Heijunka)

ZITIERTE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- [1] **Altshuller, G.; Shulyak, L.; Rodman, S.:** The Innovation Algorithm, TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity, Technical Innovation Center, 2000);
zitiert und aufbereitet in :
Cascini, G.; Frillici, F.S.; Jantschgi, J.; Kaikov, I.; Khomenko, N.; Muraskovska, I.: tetris Teaching TRIZ at school. Handbuch des Tetris-Projektes: www.tetris-project.org. Auflage DE 1.1, November 2009. Entwickelt mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Kommission, Förderprogramm Leonardo da Vinci, Programm für lebenslanges Lernen.
- [2] **Liker, J.:** The Toyota Way: Fourteen Management Principles from the World's Greatest Manufacturer, McGraw-Hill Professional, 2004 (or more recent editions)
- [3] **Ohno, T.; Rosen, C.B.:** The Toyota Production System: Beyond Large-scale Production, Productivity Press, 1988 (or more recent editions)
- [4] **Rother, M.:** Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results. 2009 (or more recent editions)
- [5] **Shingo, S., Dillon, A.P.:** A Revolution in Manufacturing: The SMED System: Single-minute Exchange of Die System, Productivity Press, Shopfloor Series, 1985
- [6] **Bicheno J, Holweg M.:** The Lean Toolbox: The Essential Guide to Lean Transformation, Piccie Books, 4th edition, 2009 (or more recent editions)
- [7] **Retseptor, G.:** 40 Inventive Principles in Marketing, Sales and Advertising, AVX Israel Ltd., 2005, <http://www.triz-journal.com/archives/2005/04/01.pdf>
- [8] **Zlotin, B.; Zusman, A.:** An Integrated Operational Knowledge Base (System of Operators) and the Innovation Workbench™ System Software. Kishniev 1992. (translated by Alla Zusman 1998, downloaded from: http://ideationtriz.com/paper_Integrated_Operational.asp 16th October 2014)
- [9] **Visnepolschi, S.:** How to deal with failures - the smart way. Farmington Hills, Ideation Inc. 2008
- [10] **Thumes, C. M.; Zeihsel, F.:** Lean-TRIZ instead of TRIZ Lean; ETRIA - The European TRIZ Association (Hrsg). Proceedings of the TRIZ Future Conference 2013, Paris. 2013 S. 789 - 795
- [11] **Thumes, C.M.; Zeihsel, F.; Hallfell, F.:** TRIZ for waste-elimination in a „Lean Production“-Environment. The International TRIZ Association - MATRIZ (Hrsg). The 10th international Conference TRIZfest-2014, Theories and Applications, Conference Proceedings September 4-6. Prague. 2014, p. 284 - 292.